Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa

A ÁGUA E A SUSTENTABILIDADE EM ESPAÇOS VERDES

O Jardim Botânico de Coimbra

Mafalda de Albuquerque Patena Jácome

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Arquitectura Paisagista

Orientador: Professora Doutora Ana Luísa Brito dos Santos de Sousa Soares Ló de Almeida
Co-orientador: Professor Doutor Nuno Renato da Silva Cortez
Co-orientador: Eng.º Francisco Manso

Júri:

Presidente: Doutora Maria Cristina da Fonseca Ataíde Castel-Branco, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: Doutor Nuno Renato da Silva Cortez, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor Luís Paulo Almeida Faria Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutora Ana Luísa Brito dos Santos de Sousa Soares Ló de Almeida, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Licenciado Nuno Joaquim Costa Cara de Anjo Lecoq, Assistente Convidado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Lisboa, 2010

AGRADECIMENTOS

Professora Ana Luísa Soares

Professor Nuno Cortez

Engenheiro Francisco Manso

Arquitecta Paisagista Teresa Chambel

Professora Helena Freitas

Engenheira Helena Simão

RESUMO

O modo de desenvolvimento que as cidades têm vindo a seguir, aponta-se como um dos responsáveis pela crise ambiental que ameaça o planeta. O grande desafio agora é o de criar cidades mais sustentáveis, onde os espaços verdes urbanos desempenham um papel fundamental.

Esta tese tem como objectivo contribuir para demonstrar a importância dos espaços verdes urbanos no alcance de cidades mais sustentáveis, particularmente no que diz respeito ao reequilíbrio do ciclo hidrológico urbano. Para tal, são apresentadas estratégias para conduzir as águas urbanas de novo ao ciclo hidrológico e promover o uso sustentável da água em espaços verdes.

A aplicação destas estratégias ao Jardim Botânico de Coimbra apontou para resultados bastante significativos tanto do ponto de vista económico como ecológico, tornando-o auto-suficiente e possibilitando a redução dos consumos de água e a devolução do dobro da água gasta em rega no jardim ao seu ciclo natural.

A adopção deste tipo de estratégias apresenta benefícios económicos e ambientais, que se reflectem não só no meio urbano mas também no meio natural, o que representa uma contribuição extremamente importante na redução da pegada ecológica das cidades.

O arquitecto paisagista desempenha um papel fundamental na integração do factor sustentabilidade nos espaços verdes urbanos, assim como na inserção do ciclo da água na cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Água, Sustentabilidade, Espaços Verdes Urbanos, Ciclo Hidrológico, Hidrologia Urbana.

ABSTRACT

The method of development that cities have been following is pointed as one of the responsible for the environmental crisis that threatens the planet. The main challenge is to create more sustainable cities, in which urban green spaces play a fundamental role.

This thesis aims to contribute to demonstrate the importance of urban green spaces in reaching more sustainable cities, particularly regarding the rebalancing of the hydrological cycle, themselves being an example of sustainability. Therefore, strategies are presented to guide urban waters to the hydrological cycle and promote the sustainable use of water in green spaces.

The implementation of these strategies to the Botanical Garden of Coimbra pointed to a very significant outcome, both from the economic and environmental point of view, making it self-sufficient and enabling the reduction of water consumption and the return of twice the water spent in irrigation in the garden to its natural cycle.

The adoption of such strategies results in economic and environmental benefits, reflected not only in urban areas but also in the environment, representing a very important contribution in the reduction of cities ecological footprint.

The landscape architect plays a key role in the integration of the sustainability aspect in urban green spaces, as well as in the insertion of the water cycle in the city.

KEY WORDS: Water, Sustainability, Urban Green Spaces, Hydrological Cycle, Urban Hydrology.

LARGER ABSTRACT

The method of development that cities have been following is pointed as one of the responsible for the environmental crisis that threatens the planet. The global warming, with the consequent climate changes, and the scarcity of resources, especially water, is endangering the survival of humanity, therefore demanding the creation of more sustainable cities, in which urban green spaces play a fundamental role.

This thesis aims to contribute to demonstrate the importance of urban green spaces in reaching more sustainable cities, particularly regarding the rebalancing of the hydrological cycle, themselves being an example of sustainability. Therefore, strategies are presented to guide urban waters to the hydrological cycle, which opt for source control solutions, using alternative drainage systems that reproduce the dynamic of natural drainage, as well as measures to reduce water consumption in green spaces, such as the use of non-potable water, the proper choice of vegetation and the use of more efficient irrigation systems.

The implementation of these strategies to the Botanical Garden of Coimbra pointed to a very significant outcome, both from the economic and environmental point of view. The use of non-potable water for garden supply made it self-sufficient and the automation of the irrigation system significantly reduced water consumption, which allowed to eliminate the costs associated with the public network supply. The intervention in the wood area, with the intention to promote water infiltration and retrieve the garden runoff, will allow the return of twice the water spent on irrigation to its natural cycle, making the water balance in the garden positive and contributing to the reduction of the ecological footprint of the city of Coimbra.

The adoption of such strategies results in economic and environmental benefits, reflected not only in urban areas but also in the environment, emphasizing the importance of compensating the effects of urbanization, through recovery or maintenance of the urban water cycle, which represents a very important contribution in the reduction of cities ecological footprint.

The landscape architect plays a key role in the intervention of urban green spaces, conciliating the various aspects of sustainability with the aesthetic and functional issues, which allows the water cycle to become an integral part of the city, sensitizing urban society for its importance.

KEY WORDS: Water, Sustainability, Urban Green Spaces, Hydrological Cycle, Urban Hydrology.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE QUADROS

1. INTRODUÇÃO

A sociedade tem-se desenvolvido com base no avanço tecnológico e no pressuposto da inesgotabilidade dos recursos naturais. Este modelo de desenvolvimento conduziu à devastação dos sistemas que suportam a vida no planeta, pondo em causa a sobrevivência da humanidade e tornando-se insustentável. Como resultado hoje vive-se uma enorme crise e instabilidade ambiental, com o aquecimento global e consequentes alterações climáticas e com a escassez de recursos, especialmente o recurso água, que põe em causa a subsistência de vários sistemas.

Surge então uma nova consciência e atitude, que deu origem a um novo modelo de crescimento, o desenvolvimento sustentável. Este reconhece a complexidade da relação entre o desenvolvimento e o ambiente, percebendo que se trata de uma relação de interdependência, pelo que não podem ser tratados separadamente.

As cidades em constante crescimento, são o reflexo de um modelo de desenvolvimento insustentável e os principais responsáveis pelos problemas ambientais que enfrentamos actualmente. Alcançar o equilíbrio entre o homem e o ambiente, no sistema que é a cidade, é indispensável no "caminho" do desenvolvimento sustentável, no qual os espaços verdes desempenham um papel fundamental.

Os espaços verdes são uma componente urbana indispensável na sustentabilidade das cidades, beneficiando-as ecológica, social e esteticamente, no entanto estes também têm que ser sustentáveis. A sustentabilidade de um espaço verde resulta do equilíbrio dos vários elementos que o compõem, como tal, se este equilíbrio for comprometido pode tornar-se insustentável. Torna-se então importante conhecer estes elementos e as suas dinâmicas, não só no próprio espaço mas também com o meio que o envolve, e perceber de que modo se pode intervir no sentido de alcançar a sustentabilidade.

No presente trabalho irão abordar-se os vários factores que determinam a sustentabilidade dos espaços verdes, nomeadamente o clima, o solo, a água e a vegetação, com especial incidência nas questões relacionadas com água, consumos, disponibilidades e qualidade, um dos principais problemas não só a nível dos espaços verdes mas também a nível mundial. Assim como o funcionamento do ciclo da água no jardim e a sua influência no ciclo hidrológico global, propondo

medidas no sentido de promover o uso sustentável da água em espaços verdes e o natural funcionamento do ciclo hidrológico em meio urbano. São ainda referidas algumas intervenções em espaços verdes urbanos, em que o uso sustentável da água foi uma das principais preocupações do projecto. Como caso de estudo desta tese será feita a aplicação das medidas propostas para a utilização sustentável da água ao Jardim Botânico de Coimbra.

2. SUSTENTABILIDADE EM ESPAÇOS VERDES

2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O progresso proporcionou à sociedade uma série de benefícios e melhorias mas trouxe consequências negativas. Se por um lado as inovações na tecnologia e medicina melhoraram consideravelmente as condições de vida, oferecendo novas possibilidades, por outro, a constante procura de desenvolvimento e riqueza levou à destruição dos sistemas de apoio à vida no planeta. Assiste-se agora ao começo de uma nova consciência global e à mudança do nosso relacionamento com o planeta. Com a civilização global os problemas surgem a uma nova escala, é necessário lidar com a destruição dos recursos naturais e do meio ambiente e com a expansão da população, mas agora a nível mundial (Rogers and Gumuchdjian, 2001).

O conceito de desenvolvimento sustentável surge em 1987, com o Relatório Brundtland, perante a necessidade de elaborar novas abordagens para gerir os recursos ambientais e sustentar o desenvolvimento humano, criando um novo modelo de desenvolvimento, que não ponha em causa a sobrevivência das gerações futuras.

"O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades." (Brundtland *et al*., 1987, capítulo 2)

A sociedade actual vive para além das capacidades ecológicas do mundo, como tal o desenvolvimento sustentável implica a imposição de limites, definidos pela capacidade da Biosfera absorver os efeitos das actividades humanas, e a promoção de valores que incentivem padrões de consumo que estejam dentro dos limites do ecologicamente possível (Brundtland *et al*., 1987).

O desenvolvimento da tecnologia e o conhecimento adquirido ao longo do tempo desempenham também um papel extremamente importante, não só na melhoria da capacidade de carga dos recursos, mas também na reorientação dos esforços tecnológicos para aliviar a pressão a que estes estão sujeitos, antes que os seus limites sejam atingidos. O controlo da poluição do ar e água e a

maior eficiência do uso de materiais e energia são exemplos do uso construtivo de conhecimentos técnicos (Brundtland *et al*., 1987).

O desenvolvimento sustentável deve exigir a satisfação das necessidades básicas de todos e oferecer a todos a oportunidade de satisfazer as suas aspirações de uma vida melhor, sem comprometer os recursos naturais que oferecem suporte à vida na Terra: a atmosfera, a água, o solo e os seres vivos (Brundtland *et al*., 1987).

É necessário perceber que o ambiente e o desenvolvimento são desafios que estão inevitavelmente ligados, num sistema complexo de causa e efeito. O desenvolvimento não pode ser conseguido com base num ambiente em deterioração, assim como o ambiente não pode ser protegido enquanto o desenvolvimento não contabilizar os custos da sua destruição (Brundtland *et al*., 1987), como realça Charles Caccia:

"How long can we go on and safely pretend that the environment is not the economy, is not health, is not the prerequisite to development, is not recreation?"[1]

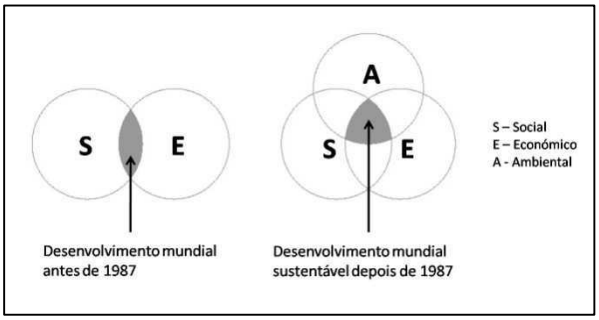


Figura 1 – Dimensões do desenvolvimento sustentável (adaptado de Edwards, 2005)

Um dos conceitos muito importantes definidos pela comissão Brundtland é que para alcançar o desenvolvimento sustentável são necessárias três dimensões: a sustentabilidade ambiental, a económica e a social, declarando que os sistemas económicos e sociais não podem desligar-se da capacidade de carga do meio ambiente (figura 1). O desejo de crescimento e bem-estar social deve equilibrar-se com a necessidade preservar os recursos ambientais para as gerações futuras (Edwards, 2005).

Os recursos consumidos por uma cidade podem ser medidos em termos da sua "pegada ecológica" (figura 2), o que corresponde a uma área, espalhada por todo o mundo e muito maior do que as suas

[1] "Quanto tempo é que podemos continuar e fingir com segurança que o ambiente não é a economia, não é saúde, não é o pré-requisito para o desenvolvimento, não é recreação? ". Charles Caccia, Member of Parliament, House of Commons, WCED Public Hearing, Ottawa, 26-27 May 1986, in Brundtland *et al*., 1987.

fronteiras físicas, da qual a cidade depende. À medida que novas cidades consumidoras se expandem, também cresce a competição por esses recursos e crescem essas pegadas (Rogers and Gumuchdjian, 2001). Para que a sociedade seja sustentável, a "pegada ecológica" terá de ser inferior à biocapacidade do planeta ou região (Marques, 2009), pelo que as pegadas ecológicas urbanas devem ser dramaticamente reduzidas e circunscritas (Rogers and Gumuchdjian, 2001).

Figura 2 – Pegada Ecológica
Fonte:http://domescobar.blogspot.com/2009/02/diminuindo-pegada-ecologica-i-i-i.html

De acordo com Marques (2009), no desenvolvimento sustentável consideram-se as seguintes prioridades:

- Preservação da biodiversidade e dos ecossistemas;
- Diminuição do consumo de energia e o desenvolvimento de tecnologias com recurso a fontes alternativas de energia renovável, como a solar, a eólica e a geotérmica;
- Controlo da urbanização desordenada e integração entre campo e cidades menores;
- Recurso a novos materiais na construção;
- Reutilização e reciclagem de materiais reaproveitáveis;
- Consumo racional de água.

O autor (Marques, 2009) declara ainda, que todos estes aspectos deverão ser considerados tanto à escala planetária, ao nível das grandes opções, como à micro-escala, nomeadamente tidos em consideração no projecto e conservação dos parques e jardins urbanos.

2.2. A IMPORTÂNCIA DOS ESPAÇOS VERDES EM MEIO URBANO

2.2.1. A CIDADE ACTUAL

A globalização e a mobilidade individual são os dois conceitos que marcam a sociedade actual, modificando a forma de estar, tanto no espaço como no tempo. Nesta era tecnológica, a fácil acessibilidade, não só física como virtual, aos aspectos naturais e culturais do meio, trouxe uma nova relação com o espaço, que é agora visto apenas como um lugar de suporte às actividades humanas

(Silva, 2008). A cidade moderna teve mais impacto no meio ambiente do que qualquer outra época (Hough, 1998).

As cidades ocupam actualmente 4% da superfície terrestre, cerca de quatro vezes mais do que os ecossistemas de água doce, e é nas cidades que vive a maior parte da população mundial, com tendência a aumentar (figuras 3, 4 e 5) (Falcón, 2007). Esta tendência sujeita os sistemas urbanos a uma enorme pressão de crescimento, como é o caso da cidade do México onde por mês chegam 80 mil pessoas (Rogers and Gumuchdjian, 2001). O modo como as cidades têm crescido, desde a cidade industrial, com base num modelo económico baseado no consumo desregrado e ineficiente de recursos naturais e no avanço tecnológico das sociedades, trouxe vantagens mas resultou também numa série problemas não só ambientais mas também sociais (Monteiro, 2003).

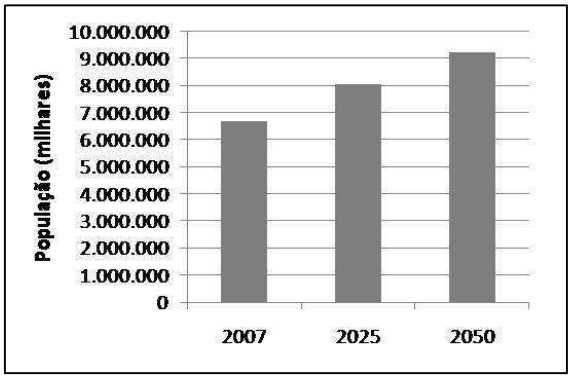


Figura 3 – Crescimento da população mundial (2007-2050)
Fonte: http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007_urban_rural_chart.pdf

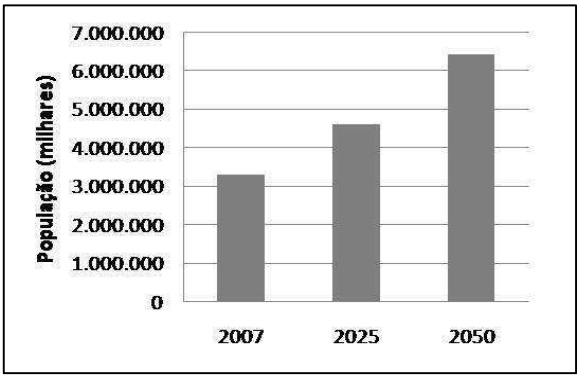


Figura 4 – Crescimento da população urbana mundial (2007-2050)
Fonte: http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007_urban_rural_chart.pdf

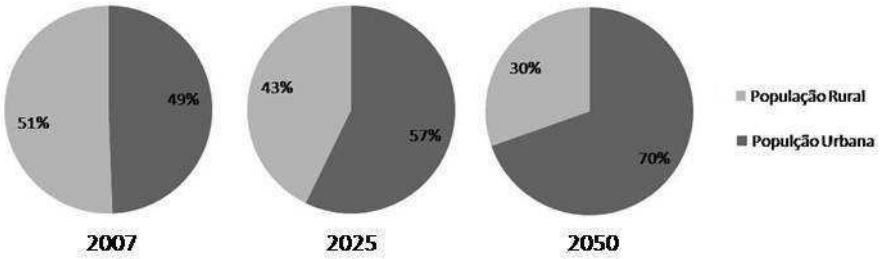


Figura 5 – Distribuição da população mundial (2007-2050)
Fonte: http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007_urban_rural_chart.pdf

Um dos grandes problemas ambientais é o aquecimento global, resultante das actividades humanas, no qual os edifícios são responsáveis por cerca de metade das emissões de gases que provocam este

aquecimento (Edwards, 2005). Esta predominância de materiais inertes juntamente com o elevado teor de poeiras, faz com que a temperatura do ar na cidade seja mais alta do que em campo aberto, devido às alterações que provocam no balanço térmico da atmosfera, fenómeno a que se dá o nome de "ilha de calor" (Magalhães, 2001). O aquecimento global está a causar alterações climáticas e as suas consequências provocam instabilidades que põem em causa os modos de subsistência de muitas regiões (Edwards, 2005).

As cidades são um dos principais responsáveis pela crise ambiental que vivemos actualmente. São responsáveis pelo consumo de solo, de energia, de água e de todos os elementos materiais necessários às actividades humanas, pela emissão de poluentes e pela produção diversificada de resíduos e de ruído, o que tem repercussões não só a nível local e regional, mas também a nível global (Monteiro, 2003).

Como resultado da máxima densidade das construções, a árvore tem vindo a ser expulsa da cidade através da impermeabilização dos quintais (logradouros) e da redução do espaço público a áreas meramente residuais (Cabral e Telles, 2005). Alguns dos ditos espaços verdes, deixaram mesmo de o ser, tornando-se espaços de limitado interesse recreativo e funcional, com nulo ou reduzido valor ecológico devido à impermeabilização e à ausência ou limitada quantidade e diversidade de vegetação (Marques, 2009). No entanto, os impactes resultantes da densificação da ocupação urbana no território têm contribuído para uma maior reflexão sobre a necessidade de integrar a natureza no espaço urbano (Monteiro, 2003). As "árvores são elementos essenciais da biodiversidade da paisagem, sem os quais a viabilidade ecológica dos sistemas de vida de que depende a sociedade humana (humanidade) não é possível." (Cabral e Telles, 2005, pág.12). Os espaços verdes urbanos desempenham um papel crucial na estrutura ecológica urbana, essencial no bom funcionamento da cidade.

Assim como o nosso planeta, também as cidades devem ser consideradas sistemas ecológicos e serem planeadas e geridas como tal, de forma equilibrada. É necessário começar a planeá-las de modo sustentável para garantir o equilíbrio entre o homem e o ambiente e consequentemente o nosso futuro (Rogers and Gumuchdjian, 2001).

2.2.2. OS PRIMEIROS ESPAÇOS VERDES

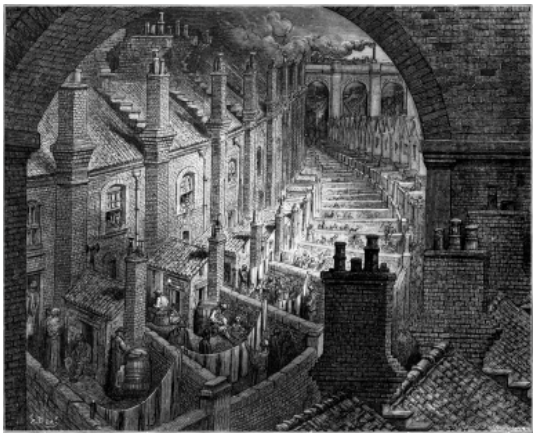


Figura 6 – A cidade industrial - Over London by Rrail, Gustave Dore (1872)
Fonte:http://www.thevalve.org/go/valve/article/over_london_by_rail_1872/

A preocupação com a necessidade de integrar a natureza na cidade, de criar espaços verdes para melhorar o ambiente urbano, acentua-se no século XIX com o objectivo de combater a insalubridade vivida com a revolução industrial (figura 6), época em que o êxodo da população rural para a cidade levou ao crescimento acelerado e caótico dos centros urbanos (Magalhães, 2001). Tendo em conta as condições existentes, a cidade ultrapassou as dimensões aceitáveis e juntamente com os elevados níveis de poluição originados pela actividade industrial, dá origem a áreas urbanas em que a qualidade de vida é praticamente inexistente (Soares e Castel-Branco, 2007).

Os primeiros espaços verdes urbanos criados no século XIX surgem em Inglaterra, país bastante marcado pela revolução industrial, e eram essencialmente espaços privados, projectados não só com um objectivo social, mas também de valorização imobiliária. Alguns destes foram posteriormente abertos ao público, mas mantendo sempre um carácter bastante elitista, como o Regent's Park, surgindo então uma maior preocupação em criar espaços verdes acessíveis a todo o público (Soares e Castel-Branco, 2007).

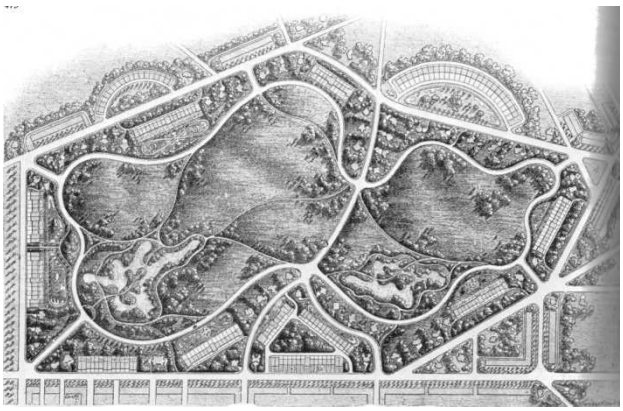


Figura 7 – Plano de Birkenhead Park
Fonte: Jellicoe e Jellicoe, 1995.

O primeiro espaço verde verdadeiramente público realizado foi Birkenhead Park (figura 7), em 1843, criado com fundos públicos e propriedade de toda a população, sem excepções, também conhecido como People's Park. Este foi projectado por Joseph Paxton, em Liverpool, com o objectivo de dar resposta à notória falta de espaços verdes,

especialmente destinados à classe operária, na cidade industrial (Soares e Castel-Branco, 2007). Este teve um papel fundamental na evolução do conceito de espaço verde público urbano, ao inspirar Frederick Law Olmsted, cuja contribuição foi determinante para a forma e uso dos parques urbanos em todo o mundo (Soares e Castel-Branco, 2007).

Dos vários projectos de Olmsted, é de destacar o Central Park (figura 8), em Nova York, que teve como base o conceito de um parque, um "pulmão" verde, no centro da cidade, com a função de purificar a atmosfera poluída (Magalhães, 1992a). Mais tarde, este conceito evoluiu para um sistema contínuo de parques, e juntamente com a formulação do conceito de Homeostasis, por Walter Cannon em 1929, dá origem ao conceito de Contínuo Natural (Magalhães, 2001). O Contínuo Natural visa preservar as estruturas fundamentais da paisagem e em meio urbano assume variadas formas e funções urbanas, desde o espaço de lazer e recreio, ao enquadramento de infra-estruturas e edifícios, à rua ou praça arborizada (Magalhães, 2001). Este é concretizado através da criação de novos espaços, da recuperação dos existentes e da sua ligação através de corredores verdes (Magalhães, 2001).

Figura 8 – Central Park, Nova York
Fonte: http://www.manhattanstyle.com/manhattan-ny/manhattan-attractions-manhattan-ny/central-park-in-new-york/

É então através dos espaços verdes, de maiores ou menores dimensões e de diferentes formas, que o Contínuo Natural se integra na cidade, constituindo a Estrutura Ecológica Urbana que pretende assegurar uma maior diversidade biológica e salvaguardar os sistemas fundamentais para o equilíbrio ecológico da cidade (Magalhães, 2001), o que contribui para o alcance do equilíbrio tão necessário entre o ambiente e o desenvolvimento.

2.2.3. BENEFÍCIOS DA VEGETAÇÃO EM MEIO URBANO

"As funções da árvore, mata e sebe viva na paisagem, considerando tanto os espaços rurais e naturais como os espaços urbanos e industriais, ou ocupados por infra-estruturas, são as de garantir a presença da vida silvestre, promover a mais conveniente circulação da agua e do ar, manter o equilíbrio dos ecossistemas, assegurar a fertilidade dos campos, contrabalançar com a sua presença,

o artificialismo do meio urbano que tanto afecta a saúde psicossomática das populações, e ainda a de valorizar a escala e a proporção dos volumes edificados." (Cabral e Telles, 2005, pág. 10)

A contribuição da vegetação na melhoria da qualidade ambiental da cidade é inegável, mas contribui ainda de modo igualmente importante para uma melhor qualidade de vida nos espaços urbanos com benefícios sociais e estéticos.

2.2.3.1. Benefícios Ecológicos

Alteração do microclima

A vegetação funciona como um termoregulador microclimático (figura 9), uma vez que assim como a água, modifica o albedo das superfícies por interferir na radiação recebida durante o dia e perdida durante a noite, o que beneficia o clima da cidade (Magalhães, 1992b). Durante os seus processos fisiológicos, a vegetação reduz a radiação devido ao consumo de energia, provocando um aumento no teor de humidade do ar e diminuindo a temperatura do ar. Além disso, fornecem sombra no verão e no caso das caducifólias, sol no inverno (Magalhães, 2001).

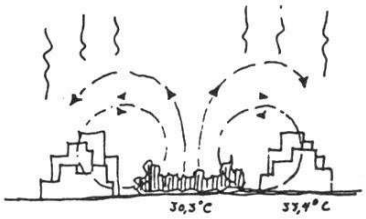


Figura 9 – Importância da vegetação na termoregulação e controlo da humidade
Fonte: Fonte: Magalhães, M.R., 1992. Espaços Verdes Urbanos. Direcção-Geral do Ordenamento do Território, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Lisboa. 104 pp.

A vegetação funciona também como corta-vento (figura 10). As árvores e os arbustos podem ser utilizados para controlar o movimento do ar, influenciando o impacto do vento, através da obstrução, encaminhamento de direcção, desvio e filtragem (Almeida, 2006). No entanto, os efeitos finais vão depender do tamanho e forma da planta, da densidade e regime de folhagem, da capacidade de retenção e da sua localização (Almeida, 2006).

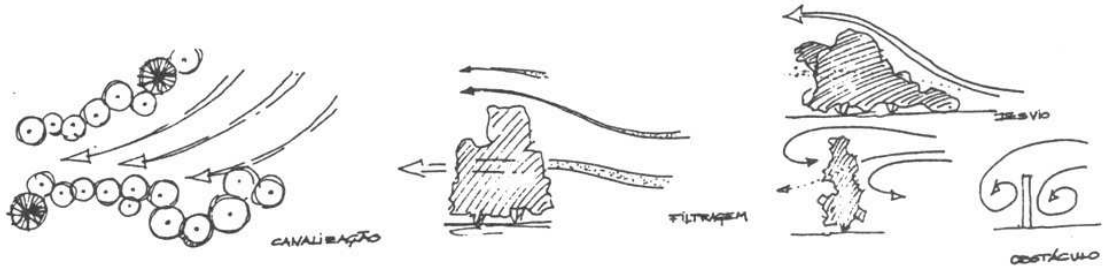


Figura 10 – Efeitos do controle do vento
Fonte: Magalhães, M.R., 1992. Espaços Verdes Urbanos. Direcção-Geral do Ordenamento do Território, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Lisboa. 104 pp.

Redução da poluição atmosférica

São cinco, as formas pelas quais a vegetação em meio urbano beneficia a qualidade do ar (Maco *et al.*, 2003 *in* Almeida, 2006):

- Absorção dos poluentes gasosos (O3, NO2 e SO2) através da superfície das folhas
- Intercepção das partículas (pó, cinza, pólen e fumo)
- Redução das emissões provenientes da emissão de energia, devido ao decréscimo do consumo de energia nos edifícios
- Libertação de oxigénio e sequestrando dióxido de carbono através da fotossíntese
- Evapotranspiração da água e ensombramento das superfícies, o que leva à diminuição da temperatura do ar local e, consequentemente, reduz as concentrações de ozono

Redução do ruído

Árvores, arbustos e herbáceas podem reduzir significativamente certos ruídos (figura 11), dependendo da densidade e extensão da vegetação (Cook and Haverbeke, 1977). A redução de ruído é alcançada por uma combinação dos diferentes tipos de vegetação (Anderson *et al.*, 1984). Em primeiro lugar, um chão de coberto vegetal reduz a intensidade do som de baixa frequência, através da absorção da sua energia e em segundo lugar, as folhas, ramos e troncos ajudam a reduzir os níveis de ruído por dispersão de ondas de som de alta frequência (Aylor, 1971 in Anderson *et al.*, 1984).

Figura 11 – A vegetação como barreira de som
Fonte: Magalhães, M.R., 1992. Espaços Verdes Urbanos. Direcção-Geral do Ordenamento do Território, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Lisboa. 104 pp.

Testes de campo têm demonstrado que plantações de árvores e arbustos projectadas correctamente reduzem significativamente o nível de ruído. Faixas amplas de árvores altas e densas combinadas com superfícies de coberto vegetal e acompanhadas por uma modelação do terreno (em talude) podem reduzir a intensidade aparente em 50 % ou mais (Dwyer, *et al.* 1992).

Uma combinação eficaz para a redução de ruído é a de conciliar a modelação do terreno com faixas densas de plantação.

Além disso, o ruído é também atenuado pelos sons que produz naturalmente, que são mais agradáveis ao ouvido humano.

Hidrologia urbana

A edificação provoca a impermeabilização do solo reduzindo a infiltração das águas pluviais, diminuindo a disponibilidade de água no subsolo e também o teor de humidade na atmosfera (Magalhães, 2001). A presença de espaços verdes contribui assim para a diminuição de áreas impermeabilizadas, permitindo a infiltração das águas pluviais e, consequentemente a recarga dos aquíferos e a diminuição do risco de cheia.

Os espaços verdes urbanos podem desempenhar um papel importante nos processos hidrológicos urbanos, reduzindo a taxa e o volume de escoamento superficial, danos de inundações, custos de tratamento de águas pluviais e problemas de qualidade de água (Dwyer, *et al.* 1992).

Erosão

Os vários tipos de vegetação (árvores, arbustos e herbáceas) protegem o solo da erosão da chuva e do vento através da fixação do solo pelas raízes e da redução do impacto da força da chuva no solo (Falcón, 2007).

Biodiversidade

Os espaços verdes e corredores que os interligam estabelecem, em meio urbano, um sistema constituído por diferentes biótopos que servem de suporte à vida silvestre (Magalhães, 2001). A vegetação transporta para a cidade os fenómenos biológicos do meio, servindo de habitat a uma fauna ainda mal conhecida, mas cuja contribuição para a preservação da saúde humana é demonstrada pelas recentes investigações no domínio da ecologia urbana (Magalhães, 2001). Os espaços verdes urbanos asseguram e promovem a biodiversidade na cidade.

2.2.3.2. Benefícios Sociais

É nos espaços verdes urbanos que população pode encontrar o local de lazer e recreio, tão necessários na recuperação da vida agitada da cidade (Figura 12). São espaços que ao contrário da correria do dia a dia na cidade, proporcionam momentos de sossego, calma e de simples contemplação da natureza (Magalhães, 2001). A presença de vegetação no espaço urbano tornam-no num lugar mais agradável para viver, trabalhar e descansar (Dwyer, *et al.* 1992).

Desempenham também a importante função de reequilíbrio social nos grupos da população economicamente menos favorecida, por estabelecer um carácter de igualdade entre todos os seus usuários e favorece as relações intergeracionais ao situar no mesmo espaço diferentes actividades destinadas a diferentes grupos etários (Falcón, 2007).

Figura 12 – Jardim Botânico de Coimbra
Fonte: Arquivo pessoal (Junho, 2008)

Os parques e jardins urbanos são ainda espaços fundamentais na educação ambiental dos cidadãos, uma vez que implícita ou explicitamente, transmitem a percepção das mudanças anuais da natureza e reflectem os ciclos vitais e a passagem do tempo (Falcón, 2007).

2.2.3.3. Benefícios Estéticos

As diferentes alterações que a vegetação sofre ao longo do ano, proporcionam à cidade dinamismo, diversidade e vida, em contraste com a marcante presença do inerte. A forma, a cor e a textura da vegetação são elementos de composição equivalentes aos elementos inertes utilizados na construção da paisagem (Magalhães, 2001), proporcionando a valorização tanto a nível do planeamento e desenvolvimento urbano, assim como a qualidade estética das ruas e dos bairros (Almeida, 2006).

2.3. O PAPEL DOS ESPAÇOS VERDES NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desde o jardim pitoresco dos climas mais frescos e húmidos ao jardim mediterrânico, os jardins foram sempre respondendo aos recursos disponíveis numa relação harmoniosa com a natureza, mas o desenvolvimento tecnológico a que se assistiu no século XX ameaçou essa estreita dependência e inter-relação com o meio (Marques, 2009). Portanto, o conceito de espaço verde sustentável, em

equilíbrio com as condições do meio em que se insere, não é um novo conceito mas antes um conceito esquecido agora redescoberto.

Ao longo da sua evolução o homem desenvolveu diversas técnicas de captação, armazenamento e condução de água, de acordo com a sua abundância ou escassez, com o objectivo de gerir este recurso e garantir a sobrevivência da humanidade. A gestão da água, enquanto elemento indispensável à vida, reflecte-se não só nas características culturais das diferentes civilizações, mas também na própria construção e evolução da paisagem (Ribeiro, 1992).

O conhecimento e técnicas presentes nos sistemas hidráulicos dos jardins antigos são uma lição no que diz respeito à utilização sustentável da água. As soluções adoptadas eram simples e eficientes, permitindo ainda tirar partido da vertente estética da água. A água era recolhida de fontes locais (minas, poços, etc.), geralmente mais altos, armazenada em tanques ou lagos e depois distribuída, por gravidade, através de caleiras e canais, tanto para fins estéticos como para rega. Estas técnicas esquecidas são hoje relembradas, servindo de inspiração na procura de soluções sustentáveis de utilização da água em espaços verdes (Castel-Branco *et al*., 2009).

A sustentabilidade é uma característica própria dos espaços verdes, que promovem naturalmente a qualidade do ar, do solo, a diversidade biológica e sensorial e hidrologia urbana, e como tal não deve ser entendida como uma extravagância ou algo extrínseco à sua natureza (Marques, 2009).

Os espaços verdes são também um pequeno ecossistema integrado pelo solo, água, vegetação e fauna que só poderão satisfazer as expectativas em relação às necessidades fisiológicas, psicológicas, ambientais, sociais e estéticas quando todos estes elementos estão em equilíbrio (Falcón, 2007). A cidade esquece a necessidade da existência de todos estes componentes, reduzindo os espaços verdes à simples presença de vegetação, tornando difícil manter e garantir a sobrevivência destes espaços, sem custos económicos e ecológicos associados.

Actualmente pretende-se que os espaços verdes urbanos assumam um papel promotor de um desenvolvimento mais sustentável (figura 13) e que eles próprios sejam exercícios de sustentabilidade, ao nível das opções do projecto em arquitectura paisagista, da sua gestão e consequente manutenção, definindo-se os seguintes princípios (Marques, 2009):

- Adaptar o traçado às características locais, ao tipo de uso previsto e aos conceitos estéticos projecto;
- Considerar o nível e tipo de infra-estruturas;
- Utilizar práticas de reciclagem e manutenção sustentável (*e.g.* recolha, armazenamento e reutilização de águas não potáveis ou estabelecimento de praticas de compostagem);
- Valorizar a construção sustentável, considerando a origem dos materiais, os processos de fabrico e os seus ciclos de vida;

Figura 13 – Os espaços verdes no desenvolvimento sustentável

- Utilizar preferencialmente materiais ambientalmente mais saudáveis (não tóxicos ou poluentes);
- Recorrer ao uso de matéria-prima, materiais, produtos e mão-de-obra locais ou regionais;
- Dar prioridade ao uso de recursos e energias renováveis;
- Reaproveitar materiais e estruturas pré-existentes;
- Utilizar plantas nativas, naturalizadas, ou exóticas não invasoras, e esquemas de plantação que promovam a sucessão ecológica, a biodiversidade e a redução de custos de manutenção;
- Criar sistemas permeáveis e reutilização de águas de escorrimento superficial;
- Recuperar sistemas naturais e suas funções ecológicas (ribeiras, sapais, lagoas, etc.);
- Recuperar, estimular ou criar habitats para a vida selvagem.

Deste modo, o projecto de arquitectura paisagista para os espaços verdes urbanos e as suas implicações práticas deve ser intrinsecamente sustentável e responder à complexidade deste conceito, coordenando criteriosamente o espaço exterior, a nível estético, ecológico, funcional, económico e social (Marques, 2009). “A sustentabilidade não pode ser adicionada, à posteriori, a espaços que não observaram os seus princípios.” (Marques, 2009, pág. 43).

O grande desafio para a arquitectura paisagista é intervir no espaço com princípios sustentáveis, conciliando os aspectos ecológicos, económicos e técnicos, sem nunca esquecer as componentes estética e funcional.

2.4. FACTORES DA SUSTENTABILIDADE EM ESPAÇOS VERDES

Como visto anteriormente os espaços verdes são um sistema composto por vários elementos e a sua sustentabilidade resulta do equilíbrio dos mesmos. Como tal, pretende-se avaliar individualmente cada um desses elementos, ou factores, de modo a poder estabelecer, para cada um, critérios que garantam esse equilíbrio, ou seja, critérios de sustentabilidade de espaços verdes.

2.4.1. CLIMA

O clima transcende todas as fronteiras das actividades naturais e humanas influenciando a água, as plantas, a fauna e a agricultura. É a força fundamental que forma os lugares e é responsável pelas diferenças entre eles (Hough, 1998).

Por sua vez o clima pode também ser influenciado pelo relevo, sendo neste caso designado por topoclima (Magalhães, 1992b). O relevo determina situações ecológicas muito diferenciadas, caracterizadas pela distribuição irregular do solo (situações de eluviação e aluviação), da água (escoamento e acumulação), dos microclimas (avesseiros e soalheiros) e da vegetação (associações húmidas e secas) (Magalhães, 2001).

Os espaços verdes devem ser pensados e projectados de modo a estarem enquadrados e adaptados às características climáticas do local onde se inserem.

2.4.2. SOLO

O solo resulta do conjunto de factores que actuaram na sua formação (tempo, clima, organismos vivos e Homem, rocha-mãe e relevo), constituindo um sistema de natureza dinâmica e em evolução contínua, reflexo da paisagem de que faz parte (Madeira, *et al.* 2008).

De acordo com investigações realizadas, o solo leva anos a ser criado naturalmente, o que o torna num recurso não renovável, quando considerado à escala da vida humana (Magalhães, 2001), pelo que deve defender-se de qualquer tipo de degradação.

A Carta europeia dos solos encarou este recurso como um bem raro, sensível e dificilmente renovável, declarando a protecção do solo arável como um objectivo prioritário de planeamento a todos os níveis, desde o rural ao urbano (Magalhães, 2001). No entanto, o solo continua a ser objecto de destruição em todo o mundo, quer pela edificação, quer por práticas culturais incorrectas que aceleram a sua perda por erosão (figura 14), pela redução dos seus índices de fertilidade ou contaminação (Magalhães, 2001).

Figura 14 – O efeito da erosão hídrica no solo
Fonte: http://www.cpap.embrapa.br/imagens/impct.jpg

Consideram-se como funções gerais do solo as seguintes (Madeira, *et al.* 2008):

- trata-se de um meio natural por excelência para o desenvolvimento das plantas terrestres, fornecendo-lhes o adequado suporte físico bem como a maior parte da água e dos nutrientes que necessitam;
- tem um papel decisivo na regulação do ciclo hidrológico e da suplementação de água, tanto em quantidade como em qualidade;
- apresenta uma elevada capacidade de reciclagem de resíduos, interferindo no ciclo de nutrientes pela acumulação de grandes quantidades de carbono sobre a forma de matéria orgânica, com consequente impacto nas mudanças globais e contribui para a depuração da água, retendo e transformando materiais "estranhos", evitando a contaminação das camadas profundas;
- constitui um habitat de organismos e sede de uma enorme diversidade biológica;
- é um meio de implantação de estruturas e fonte de matérias-primas.

Os espaços verdes devem garantir e manter o bom estado do solo, tanto a nível físico como a nível químico.

2.4.3. ÁGUA

A água potável corresponde apenas a 1% da água do planeta (figura 15) e é proveniente dos rios, lagos e cursos de água subterrâneos (Bachmann, 2007). De acordo com a Associação Portuguesa dos

Recursos Hídricos, as águas subterrâneas representam mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do planeta e é delas que mais de metade da população mundial depende.

O consumo de água tem vindo a aumentar drasticamente e de acordo com os investigadores, a este ritmo de consumo o limite total de abastecimento de água será alcançado em 2030 (Bachmann, 2007). Edwards (2005) refere-se à água como "o petróleo de amanhã" sendo a sua escassez, em algumas zonas do planeta, a carência mais preocupante.

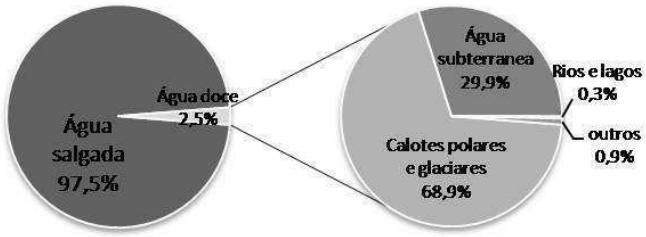


Figura 15 – Distribuição da água na terra
Fonte: Adaptado de APRH, Associação Portuguesa de Recursos hídrica

Além do problema da reduzida quantidade de água disponível colocam-se graves problemas quanto à sua qualidade, quando se acresce o risco de uma contaminação progressiva, que possa ser responsável por afectar a saúde humana e os ecossistemas (Bachmann, 2007). O fácil acesso à água e a sua disponibilidade é muitas vezes tido como uma garantia, o que a torna num artigo gratuito, resultando no seu abuso, desperdício e contaminação ambiental (Hough, 1998).

Um dos principais problemas são as alterações no ciclo hidrológico provocadas pela ocupação urbana, que através de áreas impermeáveis como telhados, passeios, ruas, estacionamentos, e passeios, altera as características do ciclo hidrológico (Araújo, *et al.* 2000), motivando a ocorrência de situações que ameaçam o desenvolvimento equilibrado e estável do habitat humano (Galvão, *et al.* 2000).

O ciclo hidrológico (figura 16) é um extenso e interminável ciclo de destilação e circulação, em que a sua qualidade dinâmica permite que a água seja reposta constantemente (Hough, 1998). Poder-se-ia então afirmar que a quantidade de água existente no planeta se mantém inalterável, mas tal não acontece (Bachmann, 2007).

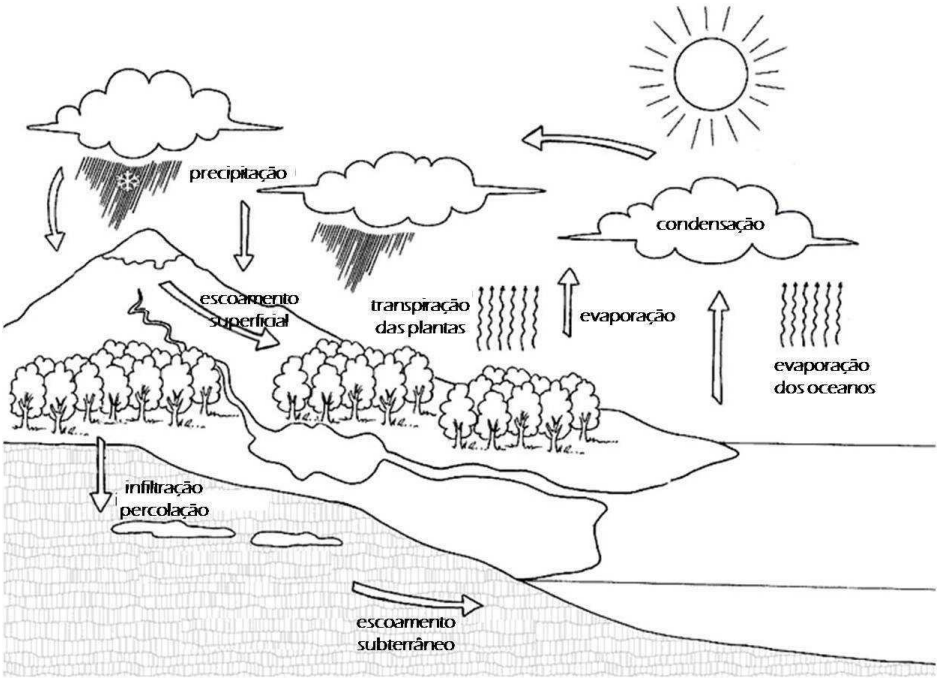


Figura 16 – O ciclo da água (adaptado de www.midisegni.it)

Na bacia hidrográfica os processos hidrológicos ocorrem em duas direcções predominantes de fluxo, o vertical e o longitudinal. Os processos de precipitação, evapotranspiração, e fluxo no solo, representam o vertical, e o escoamento superficial, subterrâneo e dos rios representam o longitudinal (Tucci, 2002). O sistema solo-vegetação-atmosfera é um sistema interactivo, com forte influência sobre o ciclo hidrológico, que é profundamente influenciado pela actividade humana que actua sobre este sistema natural (Hough, 1998; Tucci, 2002).

Nas áreas urbanas o ciclo hidrológico natural sofre fortes alterações (figura 17), tanto a nível quantitativo como a nível qualitativo, devido ao aumento da impermeabilização do solo e do escoamento superficial, à criação de obstáculos ao escoamento natural, à artificialização e canalização de cursos de água e poluição dos meios receptores (Galvão, *et al.* 2000).

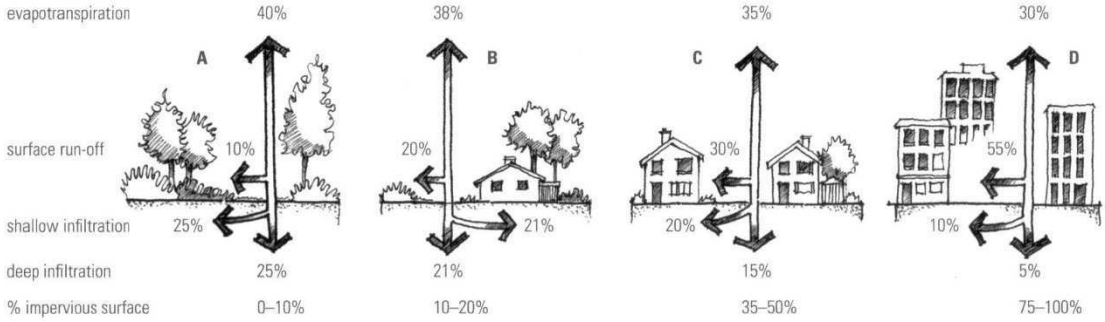


Figura 17 – Balanço da água da chuva para diferentes percentagens de impermeabilização da superfície.
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural (Tucci, 2003a). Este é interrompido pelos desvios de água, pelo armazenamento artificial e pelas canalizações dos sistemas de armazenamento urbano (Hough, 1998). A crescente densificação das zonas urbanizadas, ao provocar a impermeabilização progressiva das superfícies, impede que a água escoe lentamente, infiltrando-se ou sendo retida pelas plantas, passando a escoar pelas redes de drenagem, o que aumenta o escoamento superficial (figura 18) (Tucci, 2003a). Este aumento leva ao comportamento deficiente das redes de drenagem, devido ao sub-dimensionamento ou entupimentos (Galvão, *et al.* 2000), exigindo uma maior capacidade de escoamento das mesmas (Tucci, 2003a).

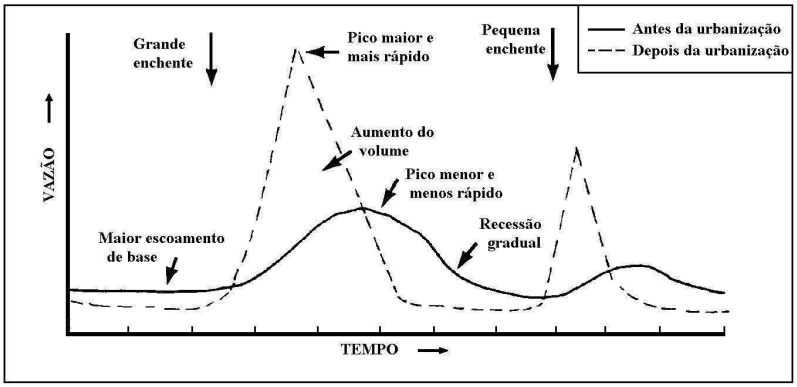


Figura 18 – Variação do escoamento
Fonte: Tucci, 2002

As duas questões essenciais na relação entre a cidade e a água são o seu abastecimento, transportando-a de onde existe suficiente (lagos, rios e reservas subterrâneas) e a sua eliminação, depois de utilizada, através do sistema de drenagem urbano (Hough, 1998).

As alterações no ciclo hidrológico introduzidas pela urbanização são as seguintes (Tucci, 2003a):

- redução da infiltração no solo;
- aumento do escoamento superficial (o volume que deixa de infiltrar fica na superfície);
- redução do escoamento subterrâneo (a redução da infiltração, tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação);
- redução da evapotranspiração devido a substituição da cobertura natural.

O escoamento superficial é um problema hidrológico de ordem geral e constitui a principal questão do escoamento urbano das águas pluviais, uma vez que gera o aumento da frequência e do nível das

inundações e cheias, redução da qualidade da água e o aumento de materiais sólidos no escoamento pluvial (Tucci, 2003a).

Os sistemas convencionais de drenagem pluviais deterioram a qualidade da água e interrompem a vida aquática (Hough, 1998). A deterioração da qualidade da água dá-se tanto ao nível da água superficial como subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto doméstico e pluvial, com consequente contaminação de aquíferos (Tucci, 2003b).

Este processo é desencadeado principalmente pela forma como as cidades se desenvolvem e por projectos de drenagem urbana inadequados, que têm como único objectivo escoar a água precipitada o mais rápido possível da área projectada (Tucci, 2003a). Este tipo de soluções actua apenas sobre o efeito e não sobre as causas do aumento de vazão, que é a constante impermeabilização das superfícies (Tucci, 2003a).

Deve-se antes optar por soluções de controlo na origem, procedimentos e técnicas que controlam as águas pluviais a montante da rede de colectores e que interferem ao nível da bacia de drenagem, cujo principal objectivo é melhorar a infiltração das águas pluviais e/ou retenção temporária, de modo a reduzir a afluência de água pluvial ao sistema de colectores (Galvão, *et al.* 2000). A aplicação destas soluções pode ser efectuada através do desenvolvimento e implantação de projectos e tecnologias alternativas de drenagem urbana e controle de inundações, nomeadamente (Filho e Medeiros, 2004):

- Armazenamento na própria rede
- Bacias de retenção
- Pavimentos permeáveis
- Poços de infiltração ou de injecção (individuais ou colectivos)
- Trincheiras de armazenamento e infiltração
- Valas ou valetas de infiltração ou armazenamento
- Telhados de captação de águas pluviais, com armazenamento e posterior distribuição

As soluções de controlo na origem constituem instrumentos privilegiados para a resolução ou minimização dos problemas de drenagem consequentes da ocupação urbana. Estas, quando bem implementadas e exploradas, não transferem problemas, no tempo e no espaço, para outros, e para jusante, representando por isso soluções que reflectem o conceito de desenvolvimento sustentável (Galvão, *et al.* 2000).

Existem formas realistas para reunir a água urbana ao ciclo hidrológico (figuras 19 e 20), como o encaminhamento da água por áreas vegetalizadas em alternativa aos colectores pluviais, que já foi demonstrado ser mais económico e benéfico para a qualidade da água. Assim, os sistemas pluviais devem desenhar-se, tanto quanto possível, de modo equivalente aos modelos naturais, permitindo a retenção de água e a sua absorção dentro do solo (Hough, 1998).

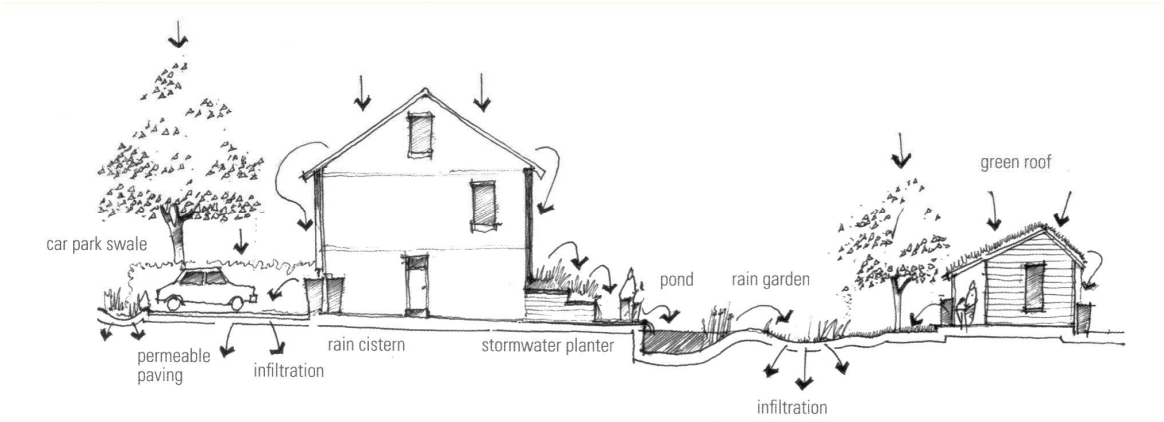


Figura 19 – Rede pluvial residencial
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

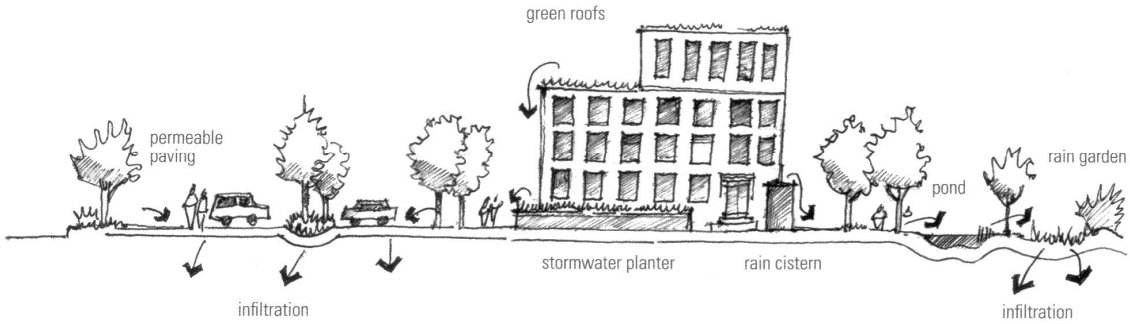


Figura 20 – Rede pluvial comercial
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

Os espaços verdes não devem por em causa a qualidade e disponibilidade de água, contribuindo para o natural funcionamento do ciclo hidrológico.

2.4.4. VEGETAÇÃO

Desde sempre que o homem utilizou sabiamente a vegetação para prover às suas necessidades em materiais e alimentos, promover a conservação da água e do solo, abrigar-se do vento, e também como elemento da composição da paisagem (Magalhães, 2001).

A vegetação é o resultado da interacção de todos os factores ecológicos (clima, relevo, solo e água), formando um meio ambiente específico, que evoluiu em diferentes formas e comunidades que se adaptaram aos diferentes tipos de clima, chuvas, solos e fisiografia (Hough, 1998).

Actualmente assiste-se a uma nova consciência ecológica e como resultado, a preocupação com a utilização de espécies autóctones é cada vez maior. O valor das nossas paisagens naturais e da sua flora espontânea é agora reconhecido, assim como as consequências da modificação dos ecossistemas e da perda irrecuperável do nosso património florístico (Castro, 2000).

A vegetação constitui o material primordial de construção da paisagem, pelo que a profundidade do seu conhecimento, particularmente da vegetação espontânea, é indispensável numa intervenção na paisagem em termos integrados e reflectir-se-á necessariamente na qualidade do projecto (Magalhães, 2001).

A vegetação utilizada em espaços verdes deve estar perfeitamente adaptada às condições edafo-climáticas do local em se insere.

2.5. RELAÇÃO ENTRE SUSTENTABILIDADE E CONSUMO DE ÁGUA

"Desenvolver fontes novas e alternativas de abastecimento de água, tais como dessalinização da água, reposição artificial de águas subterrâneas, uso da água de pouca qualidade, aproveitamento de águas residuais e reciclagem de água."[2]

[2] Agenda 21: Capítulo 18 - Protecção da Qualidade e do Abastecimento de água doce: aplicação de abordagens integradas para o desenvolvimento, gestão e utilização dos recursos hídricos. Área de Programa A - Desenvolvimento e gestão integrada dos recursos hídricos, Actividades (j).

"Promover a conservação da água por meio de planos melhores e mais eficientes de aproveitamento de água e de minimização de desperdício para todos os usuários, incluindo o desenvolvimento de mecanismos de poupança de água."[3]

Das actividades propostas pela Agenda 21 no âmbito da "Protecção da Qualidade e do Abastecimento de água doce", estas são as que mais se destacam no contexto da conservação da água, apreendendo a urgência de implantar acções para a conservação da água com o objectivo de contribuir para a promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos (Santos, 2002).

Como visto anteriormente, os espaços verdes urbanos têm um contributo inquestionável no alcance do desenvolvimento sustentável, no entanto, é também inquestionável que a manutenção dos espaços verdes acarreta alguns problemas, especialmente no que diz respeito aos consumos de água para rega, que são muitas vezes insustentáveis não só em termos económicos, uma vez que a maior parte da água utilizada é da rede pública, mas também em termos ambientais pela sua utilização desregrada.

Portugal apresenta um clima mediterrânico, caracterizado por um inverno húmido e chuvoso e um verão seco e quente, como tal é no verão que surgem os principais problemas associados à escassez de água. Este é um factor essencial para o desenvolvimento sócio-económico do País, pelo que deve ser considerado um recurso estratégico e estruturante, em que a elevada eficiência do seu uso deve ser necessariamente garantida (Baptista *et al.*, 2001).

Tendo em conta a evidente falta de água, são imensos os benefícios da transformação dos jardins existentes em jardins eficientes no consumo de água (Borges, 2005). A definição de medidas relativas ao consumo de água em usos exteriores é um dos aspectos abordados no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), onde o consumo relativo à rega de espaços verdes é o principal componente. É onde se devem concentrar os esforços para uma utilização eficiente da água, particularmente nos meses de Verão quando as necessidades de água são superiores e as disponibilidades reduzidas (Baptista *et al.*, 2001).

[3] Agenda 21: Capítulo 18 - Protecção da Qualidade e do Abastecimento de água doce: aplicação de abordagens integradas para o desenvolvimento, gestão e utilização dos recursos hídricos. Área de Programa A - Desenvolvimento e gestão integrada dos recursos hídricos, Actividades (I).

No projecto de espaços verdes é indispensável assegurar o bom desenvolvimento da vegetação e para tal, primeiro é importante avaliar a quantidade, qualidade e origem da água disponível para a manutenção do espaço verde em questão (Falcón, 2007).

A eficiente utilização da água na rega de espaços exteriores, pode ser alcançada através da implementação de procedimentos adequados, que permitam fornecer às plantas exactamente a quantidade de água correspondente às suas necessidades de crescimento, abrangendo não só a alteração de metodologias relativas à gestão da rega, do solo e das plantas mas também a substituição de equipamento de rega (Baptista *et al.*, 2001).

Deve também ser considerada a substituição da água utilizada para rega por água de qualidade inferior proveniente de origens alternativas, nomeadamente água de poços existentes no local, a água da chuva e a água residual tratada, que pode proporcionar uma poupança de água bastante significativa (Baptista *et al.*, 2001).

Propõe-se ainda a limitação ou proibição total da utilização de água da rede pública para a rega de espaços verdes, mas apenas em períodos de escassez de água, com o risco de degradação destes espaços e consequente necessidade de recuperação dos mesmos, para além da falta de aceitação por parte do público (Baptista *et al.*, 2001).

É assim possível encontrar alternativas para a minimização do problema que são os custos elevadíssimos de manutenção e conservação dos espaços verdes urbanos, periurbanos ou rurais (Borges, 2005).

É indispensável entender os espaços verdes no seu todo, conhecendo e percebendo todos os elementos que determinam a sua existência e sucesso. Só assim é possível garantir o seu equilíbrio com o meio e conseguir que estes desempenhem o seu papel na procura de um desenvolvimento mais sustentável.

3. O CICLO DA ÁGUA NO JARDIM

Se observarmos o ciclo da água na natureza podemos ver que este se rege pelo princípio do armazenamento. Os terrenos inundados de forma natural e os lagos são a reserva dos rios e os solos com vegetação capturam e filtram a água com perdas mínimas e benefícios máximos para a recarga da água subterrânea (Hough, 1998). O jardim, enquanto representante da natureza na cidade e tendo como base da sua existência a água, deve-se reger pelo mesmo principio, sem pôr em causa o seu funcionamento.

Analisando a equação fundamental da hidrologia ($P = E + Qsup + Qsub + If + Az$)[4], verifica-se que a intervenção, no ramo terrestre do ciclo hidrológico, com o objectivo de reter o máximo de água no solo, se pode realizar aumentando o escoamento sub-superficial, a infiltração e o armazenamento no solo e, por outro lado, reduzindo o escoamento superficial e a evapotranspiração (Magalhães, 2001).

Os espaços verdes constituem, acima de tudo, áreas com bastantes potencialidades de infiltração, em contraste com a impermeabilização resultante da ocupação urbana, desempenhando um importante papel no reequilíbrio do ciclo hidrológico em meio urbano. Tendo em conta os problemas resultantes da influência da urbanização no ciclo hidrológico, o principal objectivo será promover a infiltração de água no solo, não só para reduzir o escoamento superficial, que tem as consequências mais "visíveis", mas também para promover a recarga dos aquíferos, cujas consequências apenas ainda não o são.

A água, além de ser indispensável para a nutrição e desenvolvimento das plantas, intervém também em muitos outros processos do projecto paisagístico, como a drenagem ou a sua utilização enquanto componente estético, e por isso a sua gestão e desenho devem ser consideradas de modo global (Falcón, 2007).

[4] P – Precipitação
E – Evapotranspiração
Qsup – Escoamento superficial
Qsub – Escoamento sub-superficial
If – Infiltração
Az – Armazenamento no solo

A intervenção em termos hídricos no jardim tem como base a gestão da água, actuando essencialmente a dois níveis. O primeiro é o seu consumo para rega e o segundo diz respeito ao seu ciclo natural, utilizando soluções alternativas de drenagem que contribuam para o seu natural funcionamento. É então importante conhecer o funcionamento do ciclo da água para perceber como se pode intervir no jardim.

3.1. FACTORES QUE O INFLUENCIAM

O ciclo da água é influenciado principalmente pelo solo e pela vegetação. A quantidade de água armazenada depende das características filtrantes da terra que são influenciadas pelo declive, tipo de solo e vegetação (Hough, 1998).

A precipitação que atinge o solo pode-se infiltrar ou escoar superficialmente. Da percentagem infiltrada, uma parte percola para o aquífero, que pode posteriormente alimentar cursos de água, e outra dá origem a escoamento sub-superficial, que circula ao longo dos canais internos do solo até a superfície ou curso de água. A quantidade de água infiltrada depende do tipo de solo e da capacidade deste para infiltrar, que é determinada por condições variáveis, nomeadamente a quantidade de água já existente, as características do solo e a sua cobertura (Tucci, 2002).

Por exemplo, em solos com vegetação a capacidade de infiltração é alta, enquanto que em solos desprovidos de vegetação, por estarem sujeitos a compactação, a capacidade de infiltração é muito diminuída (figura 21). No caso do solo argiloso, a sua capacidade de infiltração pode ser alta enquanto seco e depois de húmido é quase impermeável (Tucci, 2002).

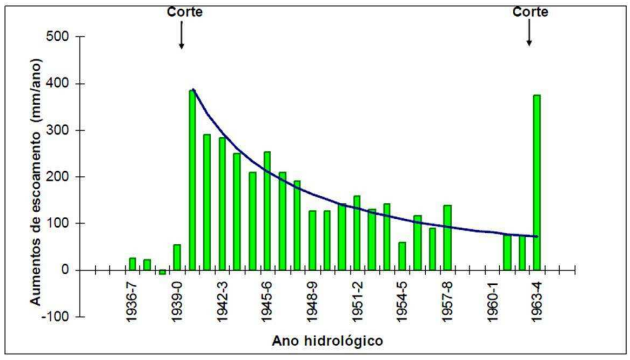


Figura 21 – Influência de um corte raso de uma floresta no escoamento, numa bacia da Carolina do Norte (adaptado de Swift e Swank, 1981)

A vegetação retém parte da precipitação inicial, variando de acordo com a dimensão da superfície de folhagem, que quanto maior for, maior será a área de retenção de água. O volume retido é evaporado, quando as condições necessárias forem reunidas, e quando já não existe água disponível

para evaporação, inicia-se o processo de transpiração em que as plantas perdem humidade, retirada do solo através das raízes, para o ambiente (Tucci, 2002).

A cobertura vegetal interfere no processo precipitação-vazão, através da interceptação de parte da precipitação e amortecimento do escoamento, reduzindo as vazões máximas e a erosão do solo (figura 22) (Tucci, 2003a).

O papel desempenhado pela vegetação é essencial no balanço de energia e no fluxo de volumes de água (Tucci, 2002). Hough (1998) refere-se à vegetação como o factor determinante que assegura que a água é reciclada de novo ao sistema natural e que os vários estratos e espécies têm um contributo significativo na melhoria da qualidade da água da chuva antes que esta regresse aos rios e lagos.

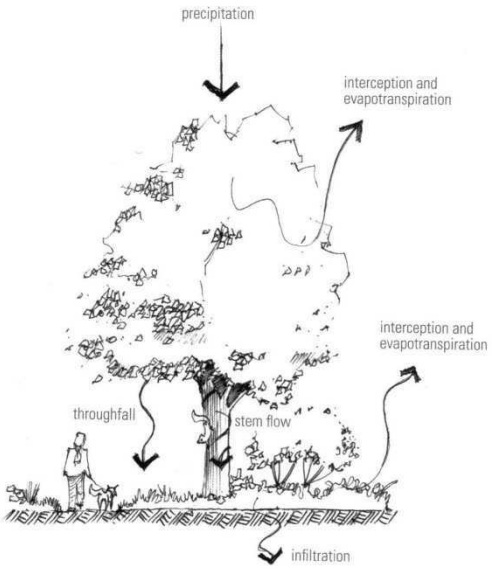


Figura 22 – As várias formas em que a vegetação influencia o escoamento superficial
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

Uma questão bastante importante são os poluentes que entram no ciclo da água através da chuva, na qual o solo e a vegetação desempenham papeis fundamentais. As águas pluviais contêm uma variedade de componentes orgânicos e químicos, provenientes das superfícies pavimentadas e telhados, que as tornam prejudiciais (Hough, 1998). O solo desempenha um papel de grande relevo na remoção de poluentes (figura 23) e na protecção da qualidade da água subterrânea (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000), uma vez que o processo de infiltração promove a depuração das águas pluviais (Galvão, *et al.* 2000). As suas capacidades microbiológicas e químicas, que filtram os nutrientes que serão reutilizados pelas plantas e ao mesmo tempo devolvem a água pura às reservas do subsolo (Hough, 1998).

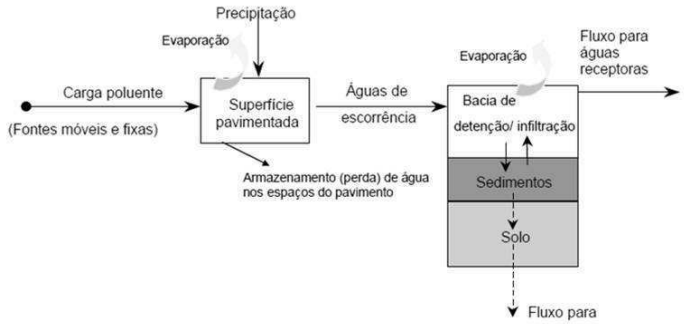


Figura 23 – O processo de remoção de poluentes numa bacia de retenção/infiltração
Fonte: Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000

Estudos experimentais demonstram que a reduções de cargas poluentes

obtidas podem ser da ordem dos 60 a 70% em carga orgânica, 80 a 90% em sólidos suspensos, 30 a 40% em azoto e 30 a 40%, ou superior, em termos de metais pesados (Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000).

O solo com coberto vegetal proporciona a drenagem natural das águas da chuva, ajuda à infiltração natural dentro da terra e controla a velocidade do fluxo da água que é essencial para o controlo da erosão e sedimentação (Hough, 1998).

3.2. MEDIDAS DE SUSTENTABILIDADE

Seguidamente serão abordadas algumas medidas para alcançar a sustentabilidade em espaços verdes, especialmente direccionadas para a gestão e consumo de água.

3.2.1. SISTEMAS PERMEÁVEIS DE DRENAGEM DE ÁGUA

3.2.1.1. Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis têm como principal função a infiltração de precipitação directa (Azzout *et al.* 1994 e Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000). Esta solução é principalmente utilizada em passeios, parques de estacionamento, áreas desportivas ou em vias de circulação, melhorando, neste caso, a segurança rodoviária (Azzout *et al.* 1994 e Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000; Tucci, 2003a).

Este tipo de pavimento pode ser diferenciado em dois tipos, os com estrutura reservatório, nos quais ocorre a retenção da água antes da infiltração, e sem estrutura reservatório (figura 24), onde a infiltração é imediatamente promovida (Azzout *et al.* 1994 e Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000; Tucci, 2003a). A utilização de pavimentos permeáveis permite o controlo das águas de escoamento superficial, sendo capaz de reduzir os volumes de escoamento superficial e caudais de ponta a níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização (Araújo, *et al.* 2000).

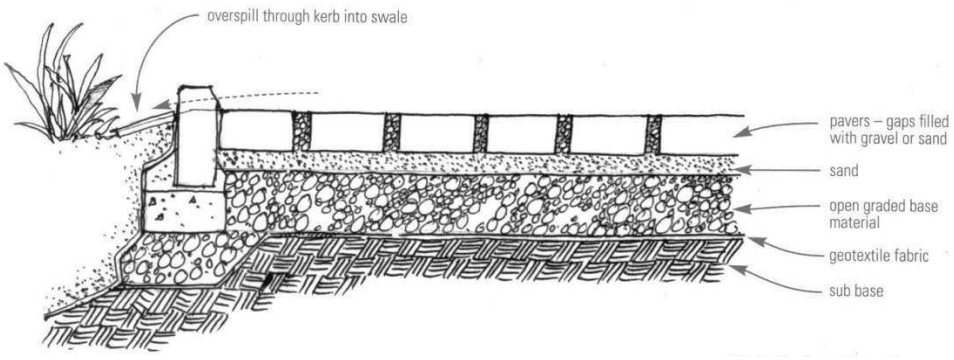


Figura 24 – Pormenor de construção de um pavimento permeável
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

No caso dos pavimentos com reservatório a água é armazenada durante o tempo necessário à sua infiltração no solo, pelo que a sua capacidade de armazenamento é determinada pela profundidade do reservatório de pedras subterrâneo e pelas características do subsolo. (Cruz, *et al.* 1999; Araújo, *et al.* 2000; Souza, 2002).

Os pavimentos sem reservatório podem ser divididos em pavimentos constituídos por materiais porosos e pavimentos em que as juntas não são seladas (figura 25). Os primeiros são compostos por gravilha, saibro, etc., ou por estruturas modulares como blocos vazados ou grelhas, e nos segundos as juntas são deixadas vazias ou preenchidas com material poroso como areia (Dunnett e Clayden, 2007).

Figura 25 – pavimento permeável
Fonte: Arquivo pessoal (Março, 2007)

Além da redução do escoamento superficial, a utilização de pavimento permeável possibilita um sistema de drenagem mais eficiente, com redução dos custos associados, e uma melhoria da qualidade da água através da redução da carga de poluentes e sedimentos (Cruz, *et al.* 1999; Araújo, *et al.* 2000). No caso dos espaços verdes, a utilização de pavimentos permeáveis na rede de caminhos e zonas de estadia, permite ainda que as plantas mais próximas aproveitem ao máximo a água da chuva (Falcón, 2007).

As restrições existentes para o uso de pavimento permeável são a impossibilidade de infiltração da água devido à baixa permeabilidade do solo, à existência de uma camada impermeável ou no caso de o nível do lençol freático ser demasiado alto (Urbonas e Stahre, 1993 in Cruz, *et al.* 1999).

No entanto foram também identificadas algumas limitações, nomeadamente a necessidade de manutenção, cuja ausência pode levar à ineficiência ou falha do sistema, o maior custo por m^2 e a possibilidade de contaminação de aquíferos e águas subterrâneas (Cruz, *et al.* 1999; Araújo, *et al.* 2000).

3.2.1.2. Poços de infiltração

Os poços de infiltração (figura 26), ou absorventes, são estruturas de forma cilíndrica, normalmente profundas que permitem a infiltração de água no solo (Azzout *et al.* 1994 e Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000). A sua principal vantagem é o facto de poderem ser aplicados onde a camada de solo superficial é pouco permeável, como no caso de áreas pavimentadas, ocupando superfícies relativamente pequenas, pelo que se integram bem no espaço urbano (Azzout *et al.* 1994 in Souza 2002).

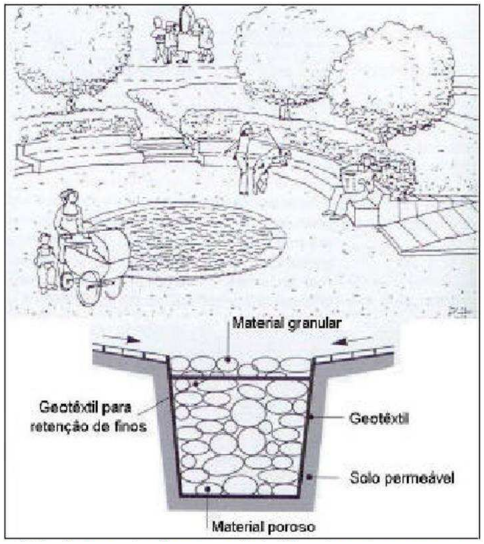


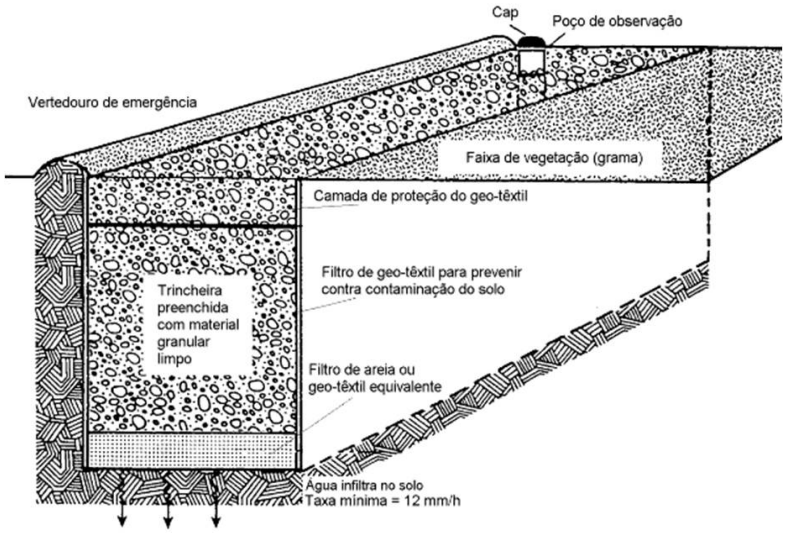
Figura 26 – Poço de infiltração integrado num espaço urbano
Fonte: Souza, 2002

No entanto, são afectados pelo processo de colmatação, que reduz a sua eficiência, o que representa uma desvantagem devido à necessidade de manutenção frequente (Azzout *et al.* 1994 in Souza, 2002).

3.2.1.3. Trincheiras de infiltração

As trincheiras de Infiltração (figura 27) são estruturas similares aos poços de infiltração, mas pouco profundas e com maior desenvolvimento longitudinal (Azzout *et al.* 1994 e Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000) e constituem elementos de drenagem do tipo controle na fonte, cujo princípio de funcionamento consiste no armazenamento temporário da água até que ela se infiltre no solo. (Souza e Goldenfum, 1999). Normalmente situam-se ao longo dos arruamentos, sendo bastante utilizadas para a infiltração do escoamento superficial proveniente das vias e pavimentos. (Azzout *et al.* 1994 e Matos, 1999 in Galvão, *et al.* 2000).

São constituídas por valetas preenchidas por material granular (brita, seixos rolados e outros), com porosidade entre 35% e 40%, dependendo do material utilizado. Este material granular é revestido por um filtro geotêxtil que impede a entrada de material fino na estrutura e reduz o risco de colmatação precoce, actuando também como filtro anti-contaminante. O geotêxtil é recoberto por uma camada de seixos formando uma camada drenante (figura 28) (Souza, 2002; Souza e Goldenfum, 1999). O excesso de água da trincheira pode ser drenado através de um tubo perfurado colocado entre o material granular, no interior da trincheira (Balades *et al.* 1998 in Souza, 2002).



rincheira de

Como desvantagens estas estruturas podem apresentar dificuldades de manutenção ao longo do tempo, devido à redução do seu desempenho resultante da colmatação, podendo mesmo ter que ser substituídas (Bettess, 1996 in Souza, 2002). Existe ainda a dificuldade de conseguir informações sobre o seu funcionamento a longo prazo, assim como a obtenção de critérios de projecto e dimensionamento (Baptista *et al.* 1998 in Souza e Goldenfum, 1999).

3.2.1.4. Canais ou valas de infiltração

São canais ou depressões lineares vegetalizadas, desenhadas para recolher e fazer circular as águas da chuva, reduzindo o fluxo de escoamento (figuras 29 e 30) (Dunnett e Clayden, 2007). Apesar de a sua função principal ser o transporte de água, estas estruturas, além de recolherem as águas das áreas adjacentes, criam também condições para que ocorra a infiltração no solo ao longo do seu comprimento, permitindo a sedimentação e filtração de poluentes (Dunnett e Clayden, 2007; Tucci, 2003a).

8. Neste caso o canal de
rde, assumindo a forma de

de infiltração
rerde
rden, 2007

do
na

Estas estruturas funcionam também como um reservatório de detenção (figura 31). Em situações de precipitação intensa os volumes de água aumentem e a infiltração torna-se mais lenta, pelo que retêm a água durante algum tempo e nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, encontram-se secas (Tucci, 2003a).

Para melhor controlar os fluxos e promover uma maior infiltração, a base do canal pode ser coberta por pedras e seixos, que dissipam a energia da água, e podem ser instaladas, pontualmente ao longo do seu comprimento, barragens de controlo, especialmente úteis em situações de maior declive,

reduzindo-o. Deste modo, é possível prevenir a erosão do solo causada pelo excesso de fluxo (Dunnett e Clayden, 2007).

A utilização de vegetação diversificada, de preferência autóctone, previne a evaporação da água dos canais que também fornecem água às plantas (Dunnett e Clayden, 2007). Estudos conduzidos em Portland, demonstraram que canais com uma maior variedade de herbáceas autóctones retiveram 41% do fluxo de água, enquanto que canais idênticos com relva retiveram apenas 27% do fluxo (Liptan, 2002 in Dunnett e Clayden, 2007).

Os canais de infiltração com vegetação são uma das soluções mais eficientes para promover a conservação dos recursos de água não só nos jardins mas também em áreas comerciais, parques de estacionamento, ruas e auto-estradas (Dunnett e Clayden, 2007).

3.2.2. BACIAS DE RETENÇÃO E INFILTRAÇÃO

Estas estruturas podem apresentar duas funções: retenção e retenção e infiltração. Na primeira o caudal pluvial é apenas amortecido, denominando-se bacias de retenção (figura 32) e na segunda o caudal de cheia é retido e posteriormente infiltrado no solo, denominando-se bacias de infiltração (figura 33) (Galvão, *et al.* 2000).

Figura 32 – Bacia de retenção em Porcheville, França
Fonte: STU 1994 in Matias, 2006

Figura 33 – Bacia de infiltração
Fonte: http://www.beltramiswcd.org/Aquatic%20Biology/Infiltration%20Basin%20Dakota%20County%20SWCD.jpg

Figura 34 – Tanner Springs Park, Portland. A água é recolhida da área circundante para o parque, onde passa por diferentes extractos de vegetação, para filtração, até chegar á bacia de retenção
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

As bacias de retenção reproduzem as dinâmicas dos lagos naturais ou zonas húmidas, onde o nível de água não é normalmente constante, e podem desempenhar uma série de funções desde a criação de habitat para a vida selvagem ao melhoramento estético e ambiental (figura 34) (Dunnett e Clayden, 2007).

As alternativas existentes para a sua criação são várias, dependendo das características do lugar, regime de chuvas, topografia, modelos de drenagem, coberto vegetal, solos e tipo de urbanização (Hough, 1998).

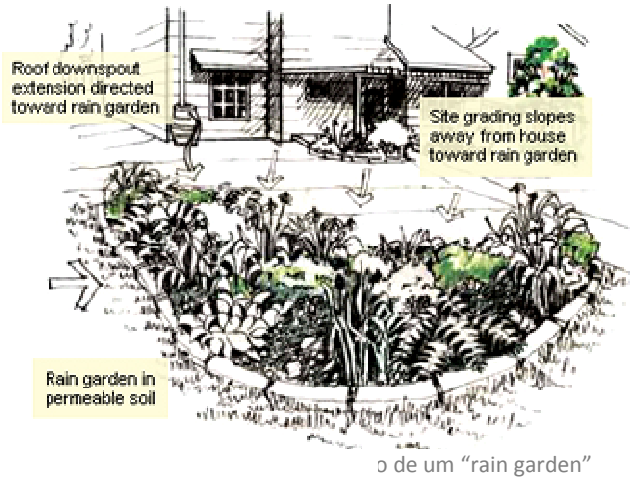
As dinâmicas que ocorrem na bacia permitem o armazenamento temporário da água da chuva, que vai sendo libertada lentamente, regularizando os caudais, e promovem a remoção de poluentes através da sedimentação e filtração pelas plantas (Dunnett e Clayden, 2007).

Outro tipo de abordagem no que diz respeito à retenção e infiltração da água da chuva são os "rain gardens" (figura 35) cujo conceito é a redução, ou mesmo eliminação, da dependência de água de rega em áreas com regular armazenamento natural de água, ao mesmo tempo que introduz na paisagem elementos que permitem a gestão do caudal pluvial (Dunnett e Clayden, 2007).

Figura 35 – Rain garden
Fonte: http://www.shawnature.org/images/NativeLand/Chapter2/Louisville%20Rain%20Garden%201.jpg

A sua aplicação consiste na vegetalização de bacias pouco profundas, com benefícios tanto ecológicos como visuais, onde o principal objectivo é promover a infiltração o máximo possível. Estas são desenhadas para recolher e reter as águas da chuva (figura 36) permitindo a sedimentação e filtração dos poluentes através da vegetação e solo à medida que a água se infiltra, podendo infiltrar

30% mais água do que relvados convencionais (Dunnett e Clayden, 2007).



o de um "rain garden"

920.jpg

O processo de remoção de poluentes consiste na detenção das águas pluviais durante um período de tempo que seja suficiente para permitir a sedimentação de poluentes e/ou a infiltração e sorção no solo (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000). A maioria dos poluentes encontram-se associados a partículas de sedimentos, pelo que, permitir que estes assentem no fundo da bacia durante um período de dias, é um método importante para melhorar a qualidade da água (Hough, 1998). Juntamente com este processo podem também ocorrer processos biológicos, tais como a assimilação ou degradação, pelas plantas, de nutrientes e metais pesados (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000).

A vegetação pode ser bastante diversificada, devendo incorporar a maior variedade de estratos possível. O principal factor a ter em conta é a capacidade de suportar períodos de inundação, sem depender de um nível de água permanente, sendo capaz de se desenvolver a maior parte do tempo em condições mais secas (Dunnett e Clayden, 2007).

Apontam-se como funções e benefícios das bacias de retenção e infiltração as seguintes (Matias, 2006):

- melhorar o comportamento do sistema de drenagem, através da capacidade de armazenamento e consequente diminuição dos riscos de inundação;
- criar reservas de água para fins agrícolas, ocorrência de incêndios, rega, utilizações municipais e actividades industriais;
- regularizar os caudais de ponta;
- diminuir a poluição das águas pluviais;
- recarregar os aquíferos por infiltração, quando a qualidade das águas pluviais não apresenta riscos para a qualidade da água subterrânea;
- criar pólos de interesse recreativo e turístico e paisagístico;

- proteger o meio ambiente;
- reduzir os efeitos da impermeabilização da bacia hidrográfica;
- evitar a remodelação da rede de drenagem, para o aumento da capacidade dos colectores de águas pluviais.

As bacias de retenção/infiltração são geralmente construídas em terra, com taludes reforçados ou diques de protecção lateral resultam da intercepção de uma linha de água, num local de fisiografia favorável, através de uma pequena barragem ou açude, ou de depressões naturais existentes no terreno (Matias, 2006). Estas podem ser divididas em dois tipos distintos, as bacias permanentes, que apresentam um lençol de água mesmo em tempo seco, e bacias secas, que apresentam lençol de água apenas nos períodos em que ocorre precipitação (Galvão, *et al.* 2000).

As bacias de retenção/infiltração podem ainda ser distinguidas pela sua localização em relação ao colector ou canal de drenagem principal, sendo denominadas de em série ou em paralelo (Matias, 2006):

- As bacias em série situam-se no alinhamento do colector ou canal de drenagem afluente, interceptando-o, e todo o escoamento afluente passa pela bacia de retenção.

- As bacias em paralelo situam-se lateralmente ao colector ou canal afluente, sendo a passagem do escoamento feita através de um descarregador lateral. Neste caso apenas parte do escoamento afluente passa pela bacia de retenção. Este tipo de bacia é menos afectado pela sedimentação exigindo menores custos de manutenção.

No nosso clima, com períodos de seca prolongados, as bacias secas, especificamente bacias de infiltração, representam uma melhor opção. A construção de sistemas de infiltração apresenta custos mais baixos do que sistemas húmidos e com vegetação, e possibilita ainda a recarga dos lençóis freáticos e o aumento dos caudais de base das linhas de água. No entanto, a influência das propriedades do solo e do nível freático no seu comportamento pode ser um inconveniente (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000).

A construção e dimensionamento, hidrológico e hidráulico, de uma bacia de infiltração têm que ter conta o regime de precipitação, a acumulação e remoção de poluentes na superfície pavimentada, a

área de drenagem e as capacidades de infiltração do solo. É também importante ter em conta o destino dos volumes de escorrência que excedam o volume de dimensionamento e conhecer as características, em termos de quantidade e qualidade, desde excesso de água de modo a avaliar os impactes desta descarga (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000).

As diferentes fracções dos poluentes, dissolvida e coloidal, são transportadas pela água através dos poros do solo, sendo retidas pelo mesmo, no entanto, com o tempo ocorre a formação de uma camada de sedimentos na base da bacia, que reduz a taxa de infiltração (Barbosa e Hvitved-Jacobsen, 2000).

3.2.3. USO DE ÁGUAS NÃO POTÁVEIS

A água utilizada para a rega de zonas verdes públicas é de qualidade muito superior à necessária. Para desenhar uma zona verde sustentável em termos hídricos é importante avaliar a sua disponibilidade, contando em primeiro lugar com a utilização dos recursos de água locais, tanto para a rega como para outros aspectos da sua manutenção (Falcón, 2007).

O projecto deve atender à origem do fornecimento de água, incorporando os elementos de recolha, condução, armazenamento e distribuição necessários à criação de uma rede adequada (Falcón, 2007).

A utilização de águas não potáveis para rega é uma das soluções em alternativa à utilização de água da rede de abastecimento público, podendo-se distinguir três origens diferentes: águas subterrâneas, águas da chuva e águas residuais.

3.2.3.1. Água Subterrânea

A captação de águas subterrâneas é uma solução bastante viável, aquando da sua disponibilidade no local, podendo ser feita através de poços, minas ou furos. No entanto, é necessário ter em atenção que as reservas de água existentes no subsolo não são inesgotáveis, e como tal o seu consumo deve ser efectuado de modo equilibrado, devendo ser tomadas medidas no sentido de contribuir para a recarga das mesmas.

3.2.3.2. Água da Chuva

O armazenamento da água da chuva para usos urbanos é uma prática antiga no nosso país, herdada das ocupações romana e árabe, cujos sistemas de armazenamento, condução e utilização da água fazem hoje parte do nosso património cultural (Magalhães, 2001). Actualmente, a procura de soluções mais sustentáveis no que diz respeito ao consumo de água, levou ao reaparecimento desta prática.

Comparando valores de precipitação média anual, podemos verificar que Portugal (920 mm) apresenta valores superiores a alguns países do Norte da Europa (Alemanha-771 mm). Os nossos problemas não são então resultado da falta de precipitação, mas sim da sua irregularidade de distribuição tanto a nível espacial como temporal, o que torna o armazenamento, superficial ou subterrâneo, de água durante o período chuvoso, indispensável para que esta possa ser utilizada durante o período de seca (Magalhães, 2001).

A água da chuva, depois de armazenada, pode ser utilizada para rega de espaços verdes (figura 37 e 38). A recolha de água da chuva necessita de uma superfície de recolha e uma cisterna de armazenamento com os respectivos componentes, no caso de um reservatório subterrâneo possibilita também o aproveitamento da água recolhida em pavimentos. Tem como desvantagem o custo de aquisição do equipamento necessário, mas a redução do consumo de água da rede é evidente (Baptista *et al.*, 2001).

Figura 37 – Urbanização Marzahn, Berlim. Nesta área residencial a água da chuva é recolhida dos telhados e transportada através de canais para um reservatório subterrâneo, para posteriormente ser utilizada na rega dos espaços verdes
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

Os sistemas de recolha de água da chuva são constituídos por seis componentes básicos (Brown, *et al.* 2005):

- Superfície de captação: a superfície sobre a qual a chuva cai.
- Transporte: componentes que conduzem a água do telhado para o tanque.
- Filtração: componentes que removem detritos e poeiras da água pluvial captada antes de esta ir para o tanque.
- Armazenamento: tanques de armazenamento, também denominados cisternas.
- Distribuição: transporte da água, através de gravidade ou bombagem, até ao seu uso final.
- Tratamento: particularmente importante no caso dos sistemas potáveis.

Figura 38 – 'A drop of water'. Sistema de armazenamento e fornecimento de água, à escala habitacional, que recolhe a água da chuva proveniente do telhado
Fonte:http://www.designboom.com/weblog/cat/8/view/7919/bas-van-der-veer-a-drop-of-water-and-bioplastic-planter.html

A água da chuva pode também ser apenas recolhida e conduzida, por gravidade, até ao espaço verde. Apesar de o principal objectivo continuar a ser o aproveitamento da água da chuva para rega, com este tipo estratégia pode-se intervir no seu percurso, desde a fonte até à origem, tirando ainda partido do aspecto estético e lúdico da água (figura 39).

Figura 39 – A caleira adopta uma forma mais orgânica, tornando a drenagem urbana mais atractiva
Fonte: Dunnett, e Clayden, 2007

3.2.3.3. Água Residual

A água residual pode ser reciclada e voltar a ser utilizada para fins não potáveis, como irrigação, jardinagem e fontes, devido aos possíveis riscos para a saúde (Edwards, 2005). Um dos casos é a utilização de águas provenientes de lavatórios, chuveiros, e máquinas de lavar roupa, denominadas de águas cinzentas (Santos, 2002).

De acordo com Hough (1998), os resíduos podem ser encarados como uma possibilidade valiosa. Estudos efectuados na universidade estatal da Pensilvânia demonstram que a água residual

doméstica que recebe um tratamento secundário apresenta um valor considerável como fertilizante. A lama residual tratada apenas primariamente, apresenta muita humidade e é biologicamente instável, mas após o tratamento secundário apresenta uma elevada estabilidade biológica e é rica em fosfatos, nitratos, potássio e oligoelementos (Hough, 1998).

A utilização de água residual tratada na alimentação dos sistemas de rega requer apenas a disponibilidade deste recurso dentro de um perímetro que torne esta utilização economicamente viável (Baptista *et al*., 2001). No entanto é importante ter em conta os seus custos de tratamento, tanto maiores quanto maior a qualidade exigida, para que esta possa ser utilizada sem por em risco a saúde publica (Santos, 2002).

Além da redução do consumo de água esta solução apresenta ainda a vantagem da diminuição do volume de efluentes tratados lançados no meio receptor, mas tem como desvantagens a acumulação de sais no solo, os riscos de toxicidade para as plantas e as questões de saúde pública (Baptista *et al*., 2001).

A utilização deste tipo de água deve ser efectuada com efluentes de qualidade microbiológica definida pela legislação em vigor e associada à técnica de rega gota a gota, por apresentar menos desvantagens, onde a água se infiltra directamente no solo contactando apenas a raiz da planta. Em caso de utilização de rega por aspersão, esta deve ser efectuada durante a noite, de modo a minimizar os riscos de contaminação dos utilizadores do espaço (Baptista *et al*., 2001).

3.2.4. ESCOLHA DA VEGETAÇÃO

O elevado consumo de água nas zonas verdes, pode ser revertido realçando a importância de optar pela escolha de vegetação autóctone, mais adequada e melhor adaptada (Borges, 2005) e através da organização do espaço por zonas de diferentes exigências de água, distribuindo e agrupando as diferentes espécies de acordo com as suas necessidades hídricas.

Substituir áreas relvadas de elevada manutenção por uma variedade de plantas locais, não só resulta numa redução geral das necessidades de manutenção, aplicação de fertilizantes, água e energia, como também aumenta significativamente as condições de habitat e de vida selvagem e de um jardim (Dunnett e Clayden, 2007).

É então importante referir o conceito de xeroscape ou xerojardim, que tem vindo a ganhar expressão nos últimos anos. A xerojardinagem surgiu nos Estados Unidos da América com o objectivo de criar um jardim com baixo consumo de água e consequentemente com uma grande capacidade de resistência à secura, obtendo espaços verdes onde se conserva a água e se protege o ambiente. Este conceito assenta nos seguintes princípios básicos (Borges, 2005):

1. Planear o espaço
2. Fazer análise do solo
3. Seleccionar adequadamente as plantas
4. Reduzir as zonas de relvado
5. Utilizar um sistema de rega eficiente
6. Utilizar coberturas de solo (mulching)
7. Assegurar uma manutenção adequada

As nossas espécies estão melhor adaptadas às difíceis condições mediterrânicas, com um longo período estival, como tal, em comparação com espécies exóticas, terão melhores condições de êxito. Além do mais, podem dispensar os cuidados contínuos de manutenção, cada vez mais difíceis de garantir aos espaços verdes (Castro, 2000).

Os espaços verdes devem ser compostos por espécies ecologicamente adaptadas à região, existindo uma enorme variedade de espécies autóctones ou naturalizadas, com grande valor ornamental e diversas possibilidades de aplicação (Borges, 2005; Castro, 2000). Apesar de estas serem preferenciais, podem também ser utilizadas espécies exóticas desde que bem adaptadas e que não representem uma ameaça para os ecossistemas locais, como é o caso das espécies invasoras. Para tal é importante a realização do estudo das condições edafoclimáticas da zona e da vegetação autóctone, assim como a correcta definição das intervenções que devem ser feitas no solo para garantir o êxito da sua implantação (Borges, 2005).

As diferentes plantas têm diferentes requisitos relativamente a luz, solo e água, e uma vez que no mesmo espaço podemos encontrar diferentes microclimas, estas devem ser plantadas nos locais que melhor correspondem às suas necessidades (Colorado Water Wise, 2008):

- Plantas que preferem sol e de condições de secas, estabelecem-se melhor expostas a Sul ou Oeste, em áreas que não sejam frequentemente regadas;
- Plantas que preferem sítios mais frescos, encontram-se melhor expostas a Norte ou Este, ou em áreas que são sombreadas por outras plantas;
- Plantas com necessidades superiores de água estarão melhor em zonas de acumulação de água ou junto a locais de circulação de água.

Assim, devem-se seleccionar plantas xerofíticas autóctones ou exóticas presentes nos ecossistemas regionais, atendendo às suas diversas características (biológicas, funcionais, cor, textura, etc.) e agrupá-las de acordo com as suas aptidões e necessidades de rega. A existência de variedade entre as espécies escolhidas é também importante, no sentido de evitar problemas monoespecíficos de pragas e doenças (Borges, 2005; Baptista *et al*., 2001).

Atendendo ao facto de os relvados, frequentemente utilizados em espaços verdes, serem bastante dispendiosos, deve-se considerar a sua substituição por herbáceas de revestimento, que cobrem o solo funcionando como um tapete natural. O seu custo de manutenção e consumos de água são mais reduzidos e apresentam uma menor susceptibilidade a pragas e doenças (Borges, 2005).

A utilização de vegetação autóctone, preferencialmente xerofítica, permite uma redução substancial do consumo de água, custos, manutenção e preservação das espécies, beneficiando o meio e o Homem (Borges, 2005).

A flora do mediterrâneo pode ser utilizada na concepção de jardins, de aromas e cores, em que se preserva a estrutura tradicional, originando espaços com maior rusticidade e harmonização com o local e aproximando-nos da paisagem mediterrânica (Borges, 2005).

3.2.5. REGA EFICIENTE

O conhecimento das necessidades reais de água em função das áreas plantadas, tipo de espécies vegetais, regime de precipitações e tipo de solo, é determinante para se obter um consumo eficiente de água (Baptista *et al*., 2001). A irrigação eficiente tem como base o planeamento da gestão de água na paisagem de modo a evitar o desperdício, pelo que é importante compreender tanto as

necessidades de água das plantas, como as especificações operativas do equipamento de rega (Colorado Water Wise, 2008).

O plano de rega é elaborado de acordo com as necessidades de água das plantas e as características do sistema de rega, cuja automatização permite uma execução mais eficiente do plano de rega (Falcón, 2007).

Assim, esta medida consiste na correcta gestão de intensidade, alcance e períodos de rega, através da alteração de comportamentos e de modo a efectuar as regas periódicas fornecendo somente a quantidade de água necessária ao normal crescimento das plantas. Mais especificamente pode-se referir as seguintes sub-medidas (Baptista *et al*., 2001):

- Regas de maior dotação e menor frequência, sem exceder as necessidades das plantas;
- Garantir que a rega é efectuada apenas quando necessário, através da instalação de sensores de humidade no solo;
- A rega deve ser efectuada no início da manha ou ao fim do dia e não deve ocorrer em dias de vento, de modo a minimizar as perdas por evaporação e transporte;
- Regular a intensidade de rega de modo a não criar escoamento superficial;
- Garantir a operação eficiente dos sistemas de rega gota-a-gota e por aspersão.

Uma rega eficiente permite a redução do consumo de água de rega e a diminuição do escorrimento superficial, resultante do excesso de água, e ainda a redução da quantidade de fertilizantes aplicados (Baptista *et al*., 2001).

A existência de um sistema de rega centralizado associado à disponibilidade de uma estação climática permite controlar o plano de rega, efectuando alterações consoante as necessidades, conseguindo uma redução do consumo de água superior a 15% (Falcón, 2007).

Os espaços verdes são fundamentais para o uso mais sustentável da água em meio urbano, existindo uma enorme variedade de estratégias e soluções, aplicáveis a diversas situações, que permitem a gestão optimizada da água, beneficiando ainda, a nível estético, o espaço envolvente.

4. EXEMPLOS

Neste capítulo são apresentados dois casos em que a água foi utilizada de forma sustentável, a Quinta das Conchas e dos Lilazes em Lisboa e a unidade de reaproveitamento de águas não potáveis, na Amadora, que serve o Parque da Ribeira, o Parque do Zambujal e os Viveiros Municipais.

No primeiro caso, os principais objectivos foram a redução do consumo e a reutilização de água, através da implementação de um sistema de rega mais eficiente e da criação de uma bacia de retenção que recolhe as águas de todo o espaço para sua posterior utilização. No segundo o objectivo foi minimizar o recurso à água da rede de abastecimento pública, tornando os espaços auto-suficientes em água, através da utilização de fontes de águas não potáveis.

4.1. QUINTA DAS CONCHAS E DOS LILAZES[5]

A Quinta dos Lilazes e a Quinta das Conchas situam-se na Alameda das Linhas de Torres, Freguesia do Lumiar, em Lisboa, ocupando, aproximadamente, uma área de 2.5 ha. Esta zona é caracterizada por uma densa malha urbana o que destaca a importância destes espaços patrimoniais enquanto espaços de recreio.

O constante desenvolvimento desta área levou à necessidade de requalificar/recuperar estas duas quintas, de modo a criar condições para a sua utilização enquanto espaços de lazer e recreio e ao mesmo tempo valorizá-los e preservar o património existente. Este trabalho de requalificação teve como objectivo promover a função cultural, ecológica e social, baseando-se na redefinição dos sistemas de composição das duas quintas, constituídos pelos percursos, circulação hidráulica e

[5] As informações referidas foram obtidas no documento: Notificação da abertura de procedimento administrativo relativo à eventual classificação de Interesse Municipal do imóvel "Edifício da Quinta dos Lilazes e Parque das Quintas das Conchas e Lilazes" sito na Alameda das Linhas de Torres, nº 198/200, na Freguesia do Lumiar. Autoras: Fátima Leitão e Sofia Andrade. Documento fornecido pela Câmara Municipal de Lisboa.

vegetação, e acrescentando elementos de recreio e estadia compatíveis com o carácter de uso público.

No seguimento do presente trabalho, serão apenas analisados os aspectos da requalificação relacionados com as questões hidrológicas do projecto, nomeadamente os sistemas hidráulico, de drenagem e de rega, de modo a perceber as questões abordadas e quais as opções de projecto.

4.1.1. A QUINTA DAS CONCHAS

O sistema hidráulico (figura 40) foi reformulado de modo a promover a existência de níveis de água permanentes com fluxos constantes. Existiam ainda vários elementos do antigo sistema hidráulico que foram preservados e restabelecidos, nomeadamente, sete tanques, de variadas dimensões, um poço artesiano coberto, uma pequena fonte e uma nascente de água sob a forma de mina.

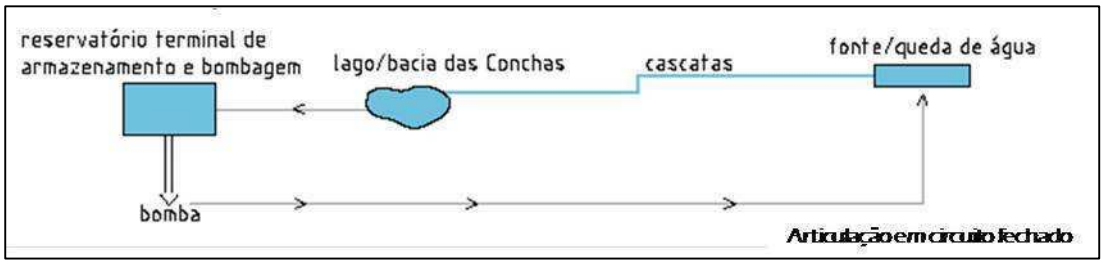


Figura 40 – Sistema hidráulico
Fonte: Câmara Municipal de Lisboa

Os tanques existentes providenciam diversos pontos de recolha e armazenamento de água, proveniente tanto da drenagem do terreno como directamente da chuva. O poço e a mina são aproveitados de acordo com as respectivas disponibilidades hídricas, podendo o poço ser também utilizado, indirectamente, como reservatório, abastecido por gravidade a partir do tanque de recepção.

A circulação da água é realizada num circuito fechado que tem início na fonte/queda de água, circula através de caleiras a céu aberto (figura 41) e termina no lago/bacia das conchas. Este está ligado ao reservatório terminal de armazenamento e bombagem que devolve a água à fonte/queda de água.

Figura 41 – As caleiras são integradas de diversas formas em todo o jardim
Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2008)

O sistema geral de drenagem (figura 42) recolhe e aproveita a água proveniente do escorrimento superficial. As águas são conduzidas, através de um conjunto de valas drenantes e drenos, a sucessivos poços onde se poderá efectuar a sua bombagem, se necessário, para o lago/bacia de recepção e reservatório terminal de armazenamento e bombagem, garantindo a articulação com o sistema hidráulico geral.

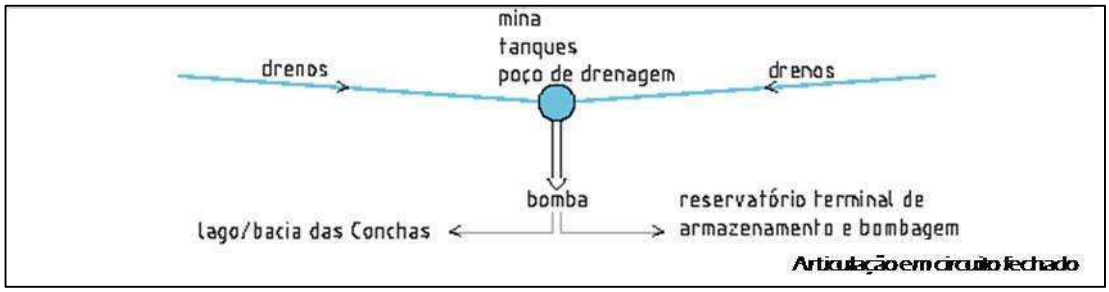


Figura 42 – Sistema de drenagem
Fonte: Câmara Municipal de Lisboa

As caleiras intersectam-se em determinados pontos onde existem comportas que permitem gerir o escoamento e a utilização dos caudais.

O lago/bacia das conchas (figura 43), além das águas de circulação e de drenagem é também, quando necessário, abastecido por água da rede pública. Este encontra-se impermeabilizado apenas até ao nível médio previsto da sua capacidade de armazenamento, de modo a garantir um volume mínimo durante todo o ano, permitindo, em situações de cheia, a infiltração de uma parte do caudal, sendo a restante escoada para o colector pluvial da rede pública de drenagem.

Figura 43 – Lago/bacia recepção
Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2008)

No que diz respeito à rega, a principal questão é a zona do grande relvado que tem uma grande exigência de água. A água utilizada para alimentar o sistema de rega (figura 44) é proveniente do lago, permitindo a poupança deste recurso e uma maior renovação das águas dos lagos. A rega é efectuada durante a noite e gerida por um programa de computador que permite detectar eventuais roturas ou falhas de sistema, regular necessidades hídricas especiais e gerir os grupos de bombagem.

Uma das principais preocupações do projecto é a utilização eficiente da água. O aproveitamento das características particulares do local em termos de disponibilidade hídrica, permite minimizar o recurso à água da rede tanto para a circulação da água à superfície como para a rega das zonas plantadas.

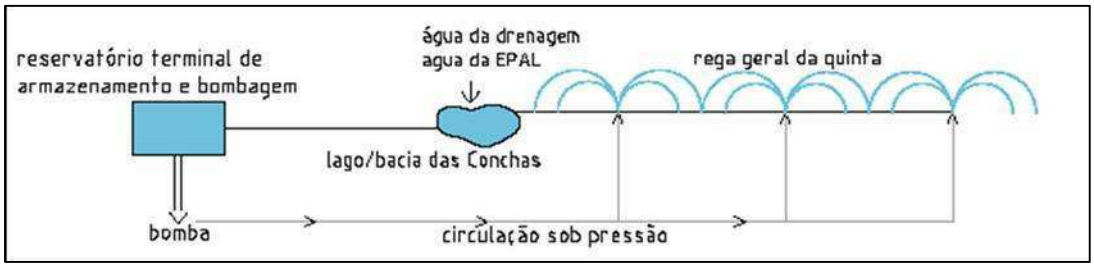


Figura 44 – Sistema de rega (funcionamento nocturno)
Fonte: Câmara Municipal de Lisboa

Em termos de consumo, tendo em conta a sua área e tipologia, este espaço deveria consumir anualmente cerca de 300 000 m^3 em rega, considerando situações normais de rega automática, e cerca de 2000 m^3 nos lagos, fontes e cascatas. No entanto, no projecto inicial haveria um aumento de gastos de água de 100 000 m^3 devido a inúmeras perdas na rede de drenagem existente, traduzindo o potencial de consumo da Quinta das Conchas para 402 000 m^3 de água por ano.

A intervenção no parque teve então como objectivo a poupança de água, no sentido da qual foram projectadas e implementadas medidas de optimização da gestão da rega, reutilização de água e aproveitamento de águas não potáveis, nomeadamente:

- Alterações à rede de drenagem, impedindo o gasto de 100 000 m^3/ano de água e permitindo também a reutilização e aproveitamento da água de rega e da chuva.

- Automatização do funcionamento da fonte e das cascatas, o que permitiu poupar cerca de 1000 m^3/ano de água e também energia eléctrica.

- Automatização centralizada do sistema de rega o que permite adequar os tempos de rega às necessidades reais de rega evitando desperdícios de água, reduzindo os consumos de água para rega em 50%, ou seja as necessidades actuais de rega são de 150 000 m^3/ano.

As medidas implementadas no parque resultam numa redução do consumo de água de cerca de 400 000m^3/ano.

O sistema de captação de água do poço e o aproveitamento de parte da água de rega e da chuva confere à Quinta das Conchas ser autónoma no que diz respeito a necessidades de água durante a maioria do ano, prevendo-se um consumo de apenas 1500 m^3/ano de água da rede.

4.1.2. A QUINTA DOS LILAZES

O sistema hidráulico é constituído por dois sistemas, que funcionam em circuito fechado, o sistema de circulação da água em caleiras e o sistema de cascatas a céu aberto. Primeiro é abastecido a partir da nora e do tanque inicial e os seus caudais são posteriormente recolhidos no lago principal de recepção e acumulação; o segundo é abastecido pelo lago principal e os seus caudais são recolhidos nos tanques do sistema de cascatas.

O elemento central da circulação hidráulica é o lago principal da quinta, que sustenta o escoamento permanente do sistema de cascatas e acumula os caudais provenientes das caleiras, antes da sua transferência para o poço da nora e poço anexo. Este sistema permite acumular as águas pluviais e os caudais do funcionamento interno dos sistemas, assegurando o seu armazenamento e garantindo o funcionamento dos sistemas em contínuo.

O sistema de drenagem tem como objectivo assegurar a recolha e infiltração da água no solo através de um conjunto de valas drenantes. Estas conduzem a água a sucessivos poços onde, se necessário,

se poderá efectuar a sua bombagem através do lago principal da Quinta dos Lilases ou do lago terminal da Quinta das Conchas, garantindo a articulação com o sistema hidráulico geral.

Neste espaço predomina a vegetação autóctone ou adaptada e os prados de sequeiro, o que permite obter baixos consumos hídricos.

A rega é efectuada a partir de um sistema gravitacional, com excepção da zona junto ao edifício da Quinta, onde existe um sistema de rega automático, que tem origem no tanque comum às duas quintas, que funciona também como um sistema de circulação com fins lúdicos. As mesmas valas que permitem regar, enxugam a terra retirando o excesso de água dos talhões. Adicionalmente foi instalado um sistema de bocas de rega, para utilização pontual em situações de verões rigorosos.

Estes sistemas estão articulados com o sistema hidráulico da Quinta das conchas, permitindo, quando necessário, o abastecimento através dos tanques e a drenagem para o lago/bacia das conchas.

A preocupação com a gestão do recurso água serve de base à recuperação do sistema hidráulico, através da criação de circuitos que evitem os gastos excessivos e as perdas e promovendo o armazenamento, distribuição, recolha e infiltração.

4.2. REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS NÃO POTÁVEIS_ AMADORA[6]

Este projecto incide sobre três espaços com proximidade geográfica, o Parque da Ribeira, o Parque do Zambujal e os Viveiros Municipais, situados na freguesia da Buraca.

O Parque da Ribeira (figura 45) (atravessado pela ribeira de Algés) abrange uma área de cerca de 2 hectares e essencialmente caracterizado por áreas relvadas, articuladas por uma rede de caminhos pedonais em saibro e alguns equipamentos colectivos.

[6] As informações referidas foram fornecidas pelo Eng. Francisco Manso, 2010 (comunicação oral) e pela Câmara Municipal da Amadora (disponível em: http://www.cm-amadora.pt/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=32076&WMCM_RootMenuId=27526&WMCM_MenuId=32083)

O Parque do Zambujal (figura 46) ocupa uma área de cerca de 3 hectares, sendo a Norte atravessado pelo Aqueduto das Francesas, afluente do Aqueduto das Águas Livres, e é também atravessado por uma linha de água. O parque é constituído por zonas relvadas, onde se encontram os equipamentos colectivos, predominando, na zona da linha de água, a vegetação ripícola e arbórea autóctone.

Figura 45 – Parque da Ribeira
Fonte: http://www.cm-amadora.pt/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=31904

O objectivo é a construção de uma unidade de reaproveitamento de água não potável, para rega e outros fins, através da ligação dos três espaços. Estes serão unidos através de condutas, permitindo a circulação da água entre eles. A água utilizada será recolhida do aqueduto das Águas Livres e do furo de captação de água que será efectuado no Parque da Ribeira e depois armazenada nos tanques do Parque da Ribeira. O fornecimento da rede pública será utilizado apenas em situações de falta de água.

Figura 46 – Parque do Zambujal
Fonte: http://www.cm-amadora.pt/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=31897

Estes dois exemplos demonstram que a utilização sustentável da água em espaços verdes é possível, existindo diferentes soluções que podem ser utilizadas de acordo com o que melhor se adaptar as condições existentes em cada espaço.

5. CASO DE ESTUDO_JARDIM BOTÂNICO DE COIMBRA

5.1. A IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA DO JARDIM NA CIDADE DE COIMBRA

O Jardim Botânico situa-se no centro histórico da cidade de Coimbra, ocupando uma das encostas da margem direita do Rio Mondego.

O município de Coimbra abrange uma área de 31940 ha, no entanto, apenas 5026 ha correspondem à cidade, ou zona urbana, de Coimbra (Terêncio *et al*., 2008). De acordo com o Plano de Urbanização da Cidade de Coimbra (quadro 1) esta divide-se ainda em duas zonas, a zona urbana não consolidada e a zona urbana consolidada, que é onde se insere o Jardim Botânico (figura 47) (Cunha, 2007)

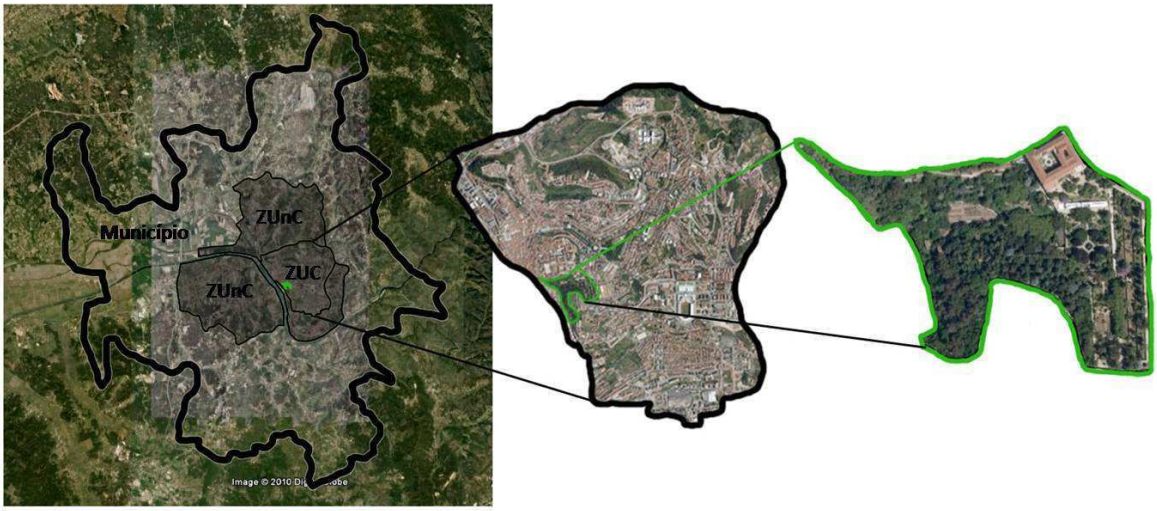


Figura 47 – Localização do Jardim Botânico de Coimbra
Fonte: Adaptado de Cunha (2007) e Terêncio (2008)

Quadro 1 – Área urbana e espaços verdes de Coimbra

	Área (ha)	Espaços verdes públicos (ha)	% Espaço verde público
Zona urbana consolidada (ZUC)	973	50	5,13
Zona urbana não consolidada (ZUnC)	4053	115	2,83
Zona urbana total	5026	165	3,27

Fonte: Cunha, 2007

Os espaços verdes públicos inseridos na zona urbana ocupam uma área de 165 ha, representando 3,27% da área da cidade. O Jardim Botânico de Coimbra representa 7,9% da totalidade dos espaços verdes públicos da cidade e é o espaço com a segunda maior área (a Mata do Choupal apresenta a maior área, com 81,3 ha) (Cunha, 2007).

Considerando apenas a zona urbana consolidada, os espaços verdes públicos têm uma expressão de 5,13%, dos quais o Jardim Botânico representa 26%, o que realça o seu valor e contributo ecológico para a cidade de Coimbra (Cunha, 2007).

Ao longo deste trabalho tem-se vindo a destacar a importância da sustentabilidade em espaços verdes, assim como o seu contributo para a sustentabilidade do meio em que este se insere, especialmente nos aspectos relacionados com a água: a sua disponibilidade, o seu consumo e seu ciclo natural. No presente trabalho iremos focar o nosso estudo no Jardim Botânico de Coimbra.

5.2. JARDIM BOTÂNICO DE COIMBRA

O jardim botânico de Coimbra surge no século XVIII, no seguimento da reforma pombalina da Universidade de Coimbra, com o objectivo de complementar o estudo da História Natural e da Medicina (Henriques, 1876).

A construção do jardim foi iniciada em 1774, e as suas obras prolongaram-se até 1867, período durante o qual o jardim foi ganhando forma à medida que os vários terraços foram sendo construídos (Araújo, 1962). A procura e encaminhamento de água para alimentar o jardim foram uma preocupação desde o inicio da sua construção, onde foi gasto uma parte considerável dos fundos disponíveis (Henriques, 1876). Enquanto elemento essencial à existência do jardim, o abastecimento de água constituiu uma prioridade para os seus directores, pelo que foram vários os estudos efectuados assim como as obras realizadas para garantir a entrada de água no jardim (Lima, 2008).

O jardim foi sendo ampliado ao longo dos anos, com a aquisição de terrenos dos colégios de S. José dos Marianos e de S. Bento, e em 1836, com a extinção das ordens religiosas, foi-lhe anexada a área da mata (Henriques, 1876; Araújo, 1962).

A evolução botânica do jardim foi notória, apresentando hoje uma vasta colecção de espécies vegetais oriundas de todo o mundo, formando um ecossistema que permite a conservação de espécies de plantas endémicas, raras ou ameaçadas (Lima, 2008).

O Jardim Botânico de Coimbra (Anexo I) divide-se em duas zonas: o jardim formal (figura 48), que ocupa 3 hectares, e a mata (figura 49) com 10 hectares. São então 13 hectares de espaço verde inseridos num centro urbano, uma situação privilegiada e um importante contributo para a estrutura ecológica da cidade.

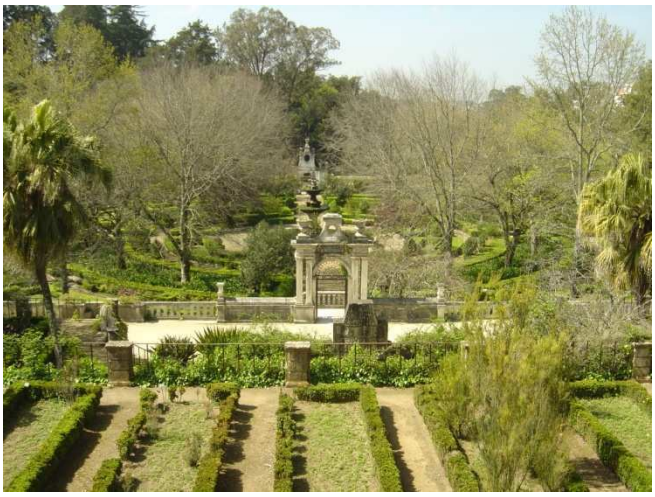


Figura 48 – O jardim formal
Fonte: Arquivo pessoal (Março, 2008)

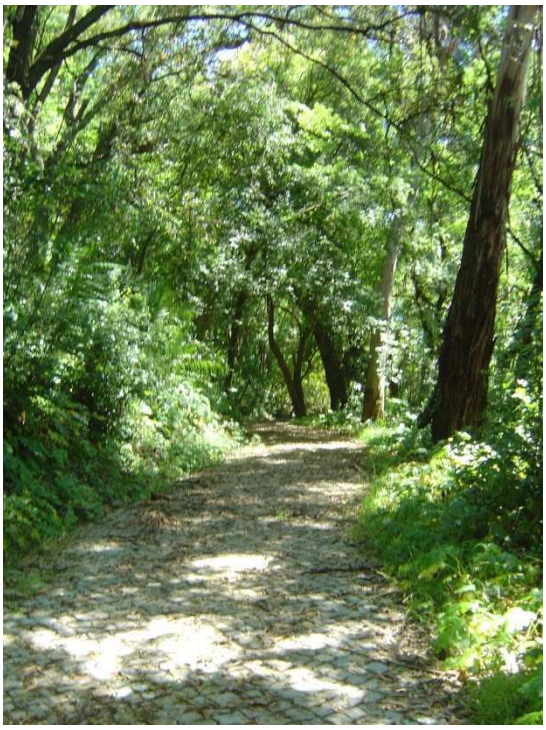


Figura 49 – A mata
Fonte: Arquivo pessoal (Março, 2008)

Recentemente o Jardim Botânico de Coimbra foi integrado no projecto EEA GRANT, promovido pela Associação portuguesa de Jardins e Sítios Históricos, que tem como objectivo a recuperação de sistemas hidráulicos, caminhos e muros em jardins históricos (Chambel *et al*., 2009).

No âmbito deste projecto, a intervenção no Jardim Botânico de Coimbra teve como base a promoção do uso sustentável da água, na qual o sistema hidráulico, particularmente a rega, foi a prioridade (Chambel *et al*., 2009).

O jardim possui uma fonte de água própria, proveniente da mina, que é armazenada num reservatório subterrâneo com 387m^3 de capacidade, mas devido aos elevados consumos esta não era suficiente, pelo que a água utilizada provinha maioritariamente da rede pública, originando

custos de manutenção muito elevados com valores na ordem dos 25 000 a 30 000 euros por ano (correspondendo a cerca de ¼ da verba anual disponível para a manutenção do jardim). A rega no jardim era maioritariamente manual, apenas uma parte era automatizada mas com pouca eficiência, originando consumos muito elevados com os respectivos custos associados (Chambel *et al*., 2009).

O projecto consistiu então na reformulação do sistema de rega, tendo sido implementado um sistema de automatização centralizada em que a rega é efectuada em função da evapotranspiração real, o que permite adequar os tempos de rega às necessidades reais de rega, evitando desperdícios de água e reduzindo os consumos de água em 50% (Chambel *et al*., 2009).

Para além da reformulação do sistema de rega, uma outra prioridade desta intervenção foi o reduzir o consumo da água da rede pública, para tal, foi executado um furo na zona superior do jardim, cuja água é armazenada, juntamente com a proveniente na mina, no reservatório existente no terraço superior, tornando-o desta forma auto-suficiente em água (Chambel *et al*., 2009).

5.3. A UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA NO JARDIM

Com esta intervenção realizada no âmbito do projecto "Recuperação de Sistemas Hidráulicos, Muros e caminhos em Jardins Históricos", promovido pela Associação Portuguesa de Jardins e Sítios Históricos e co-financiado pelo mecanismo financeiro EEA GRANT, pretendeu-se que o jardim botânico se torna-se sustentável quanto à utilização de água, esta intervenção foi feita através quer da alteração do sistema de rega, quer da redução ou eliminação da utilização de água da companhia de forma a utilizar de fontes de água não potáveis disponíveis no jardim. Todo este projecto de rega foi desenvolvido pelo Eng. Francisco Manso da empresa EngiRega.

Desta forma foi feito:

1) Alteração da metodologia de rega e dos sistemas de distribuição para dispositivos de maior eficiência

- A rega manual foi alterada por rega automática, os talhões de rega não permanente foram totalmente sectorizados, por forma a poder desligar e ligar cada sector individualmente.

- Optimização computadorizada dos tempos de rega. Foi instalado um sistema de automatização na rega de última geração que através de uma estação meteorológica permite adaptar os tempos de rega às necessidades reais das plantas. Este tipo de sistema pretende reduzir em cerca de 50% os consumos de água.

2) Redução ou eliminação da utilização de água da companhia.

Para se poder dispensar a água da companhia foi utilizado e projectado:

- Um furo.
- O depósito do jardim botânico. Este depósito já existente foi utilizado como reservatório de água de rega e foi adaptado de forma a ser abastecido em primeiro lugar pela água da mina, em caso de falta de água pelo furo e em caso de falha de ambos pela água da companhia.

Para além do seu abastecimento de água ser, depois deste projecto, auto-suficiente, estes 13 ha de espaço verde no centro da cidade, permitem uma elevada infiltração de água, o que em contraste com a urbanização circundante, torna este espaço fundamental no reequilíbrio do ciclo hidrológico urbano e na sustentabilidade da cidade de Coimbra.

Depois de instalada a rede de rega com utilização optimizada da água, a presente tese tem como objectivo quantificar o volume de água que é preciso infiltrar para compensar a água utilizada em rega e determinar se a área disponível para intervenção reúne as características necessárias para a sua infiltração.

As principais medidas para o reequilíbrio do ciclo hidrológico são no sentido de promover a infiltração, uma vez que permite a recarga das reservas de água subterrâneas e o melhoramento da qualidade da água, para a qual a zona da mata apresenta bastantes potencialidades. Esta área do jardim, que actualmente não se encontra aberta ao público, é caracterizada por declives bastante acentuados e apresenta um carácter mais “naturalizado”.

Na zona da mata, a actividade humana, nomeadamente a manutenção geral do espaço (limpeza de caleiras, caminhos e zona interior da mata), é muito reduzida, resultando numa grande acumulação

de resíduos vegetais (folhas, ramos, etc.), o que permite que este espaço desempenhe naturalmente o seu papel no ciclo da água, especialmente no que diz respeito a infiltração, apesar do declive acentuado. No entanto, este pode ser reforçado de modo a "compensar" o máximo possível as áreas da cidade em que esta não ocorre.

A área a intervir será então a zona da mata, através da criação de zonas, cuja principal finalidade é promover a infiltração. O objectivo da criação destas áreas é equilibrar o balanço hídrico do jardim, ou seja, tentar repor por infiltração, a água que é utilizada para rega, retirada da mina e do furo. Para tal, foram avaliadas as características do solo de modo a determinar qual a sua potencialidade para a implementação de zonas de infiltração, assim como as disponibilidades, consumos e desperdícios de água no jardim.

5.3.1. SOLO

5.3.1.1. Caracterização

Geologicamente o Jardim Botânico de Coimbra encontra-se inserido na Formação de Castelo Viegas, que é uma unidade do Grupo de Silves, do Triásico. A Formação de Castelo Viegas é essencialmente composta por conglomerados, arenitos e pelitos (Soares *et al.*, 2007).

O furo realizado no jardim, fornece-nos alguma informação mais específica sobre o local em estudo, de acordo com o seu relatório foram encontradas camadas sucessivas de argilas, arenitos, areões, marga argilosa, calcário, dolomias e grés.

No que se refere à caracterização pedológica, não existe ainda uma Carta de Solos à escala adequada para a zona em estudo. Contudo, as informações recolhidas sobre a implantação do jardim indicam que a sua construção resultou de aterros com material proveniente de outras zonas, pelo que o solo desta área resultou da actividade humana e não de uma formação natural. Assim, de acordo com a WRB (2006), os solos presentes poderão classificar-se como Antrosolos, ou Tecnossolos, que são solos que foram profundamente modificados pela actividade humana.

Para uma melhor caracterização dos solos do Jardim Botânico, nomeadamente daqueles que constituem a área de mata, sobre a qual incidiu o presente trabalho, foram recolhidas amostras

representativas do horizonte mineral superficial. As amostras, recolhidas em dois pontos diferentes, foram misturadas numa amostra composta que foi sub-dividida nas amostras necessárias à realização das análises laboratoriais com vista à determinação da textura, do teor de matéria orgânica, do pH e da permeabilidade do solo.

5.3.1.2. Textura, Matéria orgânica e pH

Para a determinação da textura do solo foi efectuada uma análise mecânica, utilizando uma amostra de terra fina, que permite determinar as proporções de areia grossa, areia fina, limo e argila existentes no solo (Póvoas e Barral, 1992). Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Areia grossa - 26,76%
- Areia fina - 21,63%
- Limo - 23,88%
- Argila - 27,73%

A partir destes valores, que correspondem ao que se designa por textura do solo (que corresponde à proporção de areia, argila e limo existentes na terra fina), poderemos determinar a sua classe textural, utilizando para isso o diagrama triangular (Madeira *et al*., 2008). Assim, de acordo com os resultados obtidos o solo analisado apresenta uma textura franco-argilosa, muito próxima da franca, o que representa um equilíbrio entre as propriedades das várias fracções granulométricas.

O teor de carbono e matéria orgânica existentes no solo foram determinados por combustão por via húmida, através do método de Springer & Klee (Póvoas e Barral, 1992), cujos resultados se apresentam de seguida:

- Carbono orgânico (C) - 5,31%
- Matéria orgânica (MO) - 9,15%

Estes valores são bastante elevados quando em comparação com a generalidade dos solos em Portugal que, na sua maior parte, apresentam teores de matéria orgânica inferiores a 3%. No entanto, uma vez que se trata de um solo florestal em que a intervenção humana é bastante reduzida ou quase inexistente, havendo uma grande acumulação de folhagem, é um valor bastante natural.

Apesar de constituir uma pequena fracção do solo, a matéria orgânica exerce uma grande influência nas propriedades físicas químicas e biológicas do solo. Neste caso específico, além de constituir uma fonte directa de nutrientes para as plantas, tendo em conta a percentagem significativa de argila existente no solo, o elevado teor de matéria orgânica melhora a sua estrutura através da formação de agregados, tornando mais eficientes as condições de drenagem e arejamento do solo e contribuindo para um melhor desenvolvimento radicular da vegetação existente.

O pH do solo foi determinado através do método electrométrico (Póvoas e Barral, 1992), obtendo-se os seguintes valores:

- pH em água - 7,71
- pH em KCl - 7,06

O solo apresenta um pH neutro a alcalino, o que não representa problemas ao desenvolvimento da vegetação, uma vez que é nesta ordem de valores de pH que as plantas encontram maior disponibilidade de nutrientes.

5.3.1.3. Permeabilidade

Outro parâmetro avaliado foi a permeabilidade ou condutividade hidráulica (K) do solo, que traduz a maior ou menor facilidade com que este é atravessado pela água. Esta propriedade depende das características intrínsecas do solo, nomeadamente a porosidade total, a forma e distribuição dimensional dos poros e a continuidade do espaço poroso. A sua determinaçao pode ser feita *in situ* ou em laboratório, utilizando aparelhos denominados permeâmetros, com amostras de solo não disturbadas, em que a sua estrutura natural é preservada o máximo possível, ou com terra fina (Costa, 1991).

Neste caso a avaliação da permeabilidade do solo saturado foi efectuada em laboratório utilizando uma amostra de terra fina. A determinação laboratorial de K é feita a partir do caudal que atravessa a coluna de solo, através da seguinte expressão:

$$Q = KA\frac{\Delta H}{L}$$

Q – caudal (cm^3s^{-1})

A – área da secção transversal perpendicular à direcção do movimento (cm^2)

H – diferença de carga hidráulica (cm)

L – espessura da coluna de solo (cm)

K – coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (cms^{-1})

Neste caso foram utilizadas duas sub-amostras da amostra inicial para efeitos de comparação, descrevendo-se de seguida o procedimento para a determinação do caudal:

1. Tomou-se uma quantidade de terra fina.
2. Introduziu-se no permeâmetro saibro quartzoso, previamente molhado, de modo a constituir uma camada de suporte com 2 cm de espessura.
3. Colocou-se o permeâmetro num copo de 250 cm^3 e preencheu-se com água destilada até que o nível, dentro e fora do permeâmetro, ficasse situado aproximadamente 2 cm acima da parte superior da camada quartzosa.
4. Lançou-se a terra no interior do permeâmetro, em pequenas quantidades, de forma que esta ficasse imediatamente mergulhada em água, adicionando alternadamente mais água e terra e imprimindo ao permeâmetro pequenos movimentos de rotação, de forma a homogeneizar a distribuição da terra. Esta operação foi repetida até que a altura de terra fosse de 10 cm.

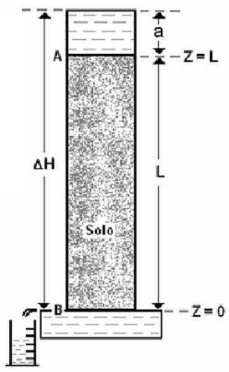


Figura 50 - Permeâmetro

5. Terminado o enchimento, o permeâmetro foi colocado num suporte e ligado, através de um sifão, a uma tina de nível constante, com água destilada. A posição do permeâmetro foi regulada para que a altura da água acima do nível da terra correspondesse à carga pretendida.
6. Colocou-se um copo sob o permeâmetro a recolher a água percolada durante uma hora.
7. Ao fim de uma hora retirou-se o copo com água percolada, que foi medida numa proveta graduada, e colocou-se outro copo vazio para continuar a recolha. Esta operação foi repetida em intervalos de uma hora até que o caudal atingisse um valor constante.

Os dados obtidos através deste procedimento estão representados no seguinte quadro:

Quadro 2 – Valores de caudal da água percolada ao fim de uma hora e ao atingir valor constante (15ª hora)

Caudal	Amostra A	Amostra B	Valor médio (ml h^{-1})	Valor médio ($cm^3 s^{-1}$)
1ªhora	55,00	56,00	55,50	0,015
15ªhora	15,50	19,50	17,50	0,005

Em seguida calculou-se o valor de condutividade hidráulica através da seguinte fórmula:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta H}$$

Os resultados obtidos estão representados no seguinte quadro:

Quadro 3 – Valores de condutividade hidráulica ao fim de uma hora e ao atingir valor constante (15ª hora)

Condutividade hidráulica (K)	K (cm s^{-1})	K (µm s^{-1})	K (cm h^{-1})
1ªhora	0,001369	13,69	4,93
15ªhora	0,000432	4,32	1,55

Ao analisar os dados obtidos podemos verificar que K foi decrescendo ao longo do tempo, devido à modificação da estrutura e ao rearranjo das partículas, até atingir a estabilidade, passadas 15 horas, quando o seu valor se tornou constante.

Assim, podemos dizer que o solo analisado apresenta um valor médio de K constante de 1,55 cm h^{-1} (4,32 µm s^{-1}), que corresponde, como se pode observar no quadro 4, a uma condutividade hidráulica saturada moderadamente alta.

No entanto, é importante ter em conta que este método está sujeito a erros consideráveis, não permitindo avaliar com rigor a permeabilidade do solo saturado nas condições naturais (Costa, 1991).

Classe	K_{sat} (µm s^{-1})
Muito alta	> 100
Alta	10 - 100
Moderadamente alta	1 - 10
Moderadamente baixa	0,1 - 1
Baixa	0,01 - 0,1
Muito baixa	< 0,01

Quadro 4 – Classes de condutividade hidráulica saturada (*Natural Resources Conservation Service*)

Neste caso, uma vez que para a determinação de K foi utilizada uma amostra de solo disturbada, a estrutura original do solo foi comprometida, havendo um rearranjo das suas partículas, pelo que é expectável que o valor real de K poderá ser maior do que o obtido.

5.3.1.4. Erosão

Para se avaliar a potencial erosão do solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que agrupa as variáveis que influenciam a erosão em seis factores genéricos através da seguinte expressão (Wischmeir e Smith, 1978):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

A – Perda de solo média ou erosão específica (t ha^{-1} ano^{-1})

R – Factor de erosividade da precipitação (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) (determinado de acordo com Arnoldus, 1977)

K – Factor de erodibilidade do solo (t h MJ^{-1} mm^{-1}) (determinado de acordo com Wischmeir e Smith, 1978)

LS – Factor fisiográfico, que resulta da combinação dos factores de comprimento de encosta (L) e declive (S) (determinado de acordo com Wischmeier e Smith, 1978)

C – Factor relativo ao coberto vegetal (determinado de acordo com Pimenta, 1998)

P – Factor de prática agrícola ou de medidas de controlo de erosão (factor não considerado por não se aplicar ao tipo de solo em estudo)

No entanto, uma vez que a EUPS foi concebida para avaliação da erosão em solos agrícolas e em estudo encontra-se um solo florestal, é natural que os valores obtidos para a perda de solo previsível, em termos absolutos, se afastem substancialmente dos valores de erosão reais. No entanto, achou-se interessante determinar desta forma expedita os valores de risco de erosão, de forma a ter uma noção aproximada da ordem de grandeza das perdas de solo a que este estará sujeito.

Depois de efectuados os cálculos, os resultados obtidos para os diversos factores foram os seguintes:

R = 197,67 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}

K = 0,024 t h MJ^{-1} mm^{-1}

LS = 3,86

C = 0,05

Optou-se por determinar dois tipos de erosão: a erosão potencial e a erosão real. Os resultados obtidos estão representados seguidamente:

– Erosão potencial

$$A = R \times K \times LS \;\; \rightarrow \;\; A = 18{,}17 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$$

– Erosão actual

$$A = R \times K \times LS \times C \;\; \rightarrow \;\; A = 0{,}91 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$$

A erosão potencial representará a perda de solo que ocorreria numa situação em que o coberto vegetal fosse inexistente, e o valor obtido corresponde a um risco moderado. A erosão actual representa a perda de solo previsível com a vegetação existente no local, e o valor obtido corresponde a um risco muito reduzido ou praticamente nulo.

A diferença obtida entre a erosão potencial e actual permite-nos ainda deduzir os riscos de perda de solo a que a zona da mata estaria sujeita, caso ocorresse uma alteração no seu coberto vegetal.

5.3.1.5. Conclusões

Pode-se então concluir, que a área em estudo apresenta, de facto, um considerável potencial para a implementação de zonas de infiltração, com uma capacidade de infiltração, em condições de saturação, correspondente a 1,55 cmh^{-1}. É também importante destacar a importância da vegetação existente, no equilíbrio do sistema que é a mata. A vegetação tem uma forte influência nas características superficiais e internas do solo, pelos elevados teores de matéria orgânica que fornece ao solo, o que melhora a sua estrutura, favorecendo a infiltração e reduz o seu potencial de erosão hídrica. Alterações significativas no “sistema mata” poderão modificar as dinâmicas existentes, pondo em causa esse equilíbrio.

5.3.2. ÁGUA

5.3.2.1. Necessidades

A zona regada no jardim é a que corresponde ao jardim formal, que ocupa uma área de 3ha. Em média as necessidades de rega de um espaço verde são na ordem dos 4000 mm/ano, com rega manual, o que aplicado ao jardim botânico corresponde a consumos de 120 000 m^3/ano.

Com a automatização centralizada do sistema de rega implantada no jardim, esta é efectuada de acordo com a evapotranspiração real, reduzindo as necessidades de rega a valores na ordem dos 1500 mm/ano. Este sistema permite adequar os tempos de rega às necessidades reais, evitando desperdícios de água, reduzindo os consumos de água para rega em 50%. Os consumos de água no jardim são agora de cerca de 45 000 m^3/ano, o que corresponde a uma poupança de 75 000 m^3/ano.

5.3.2.2. Disponibilidades

A água disponível no jardim, além da precipitação, é proveniente da mina e do furo, no entanto será apenas contabilizada a água proveniente da mina uma vez que o seu funcionamento é contínuo, enquanto que a água do furo é apenas utilizada quando a água da mina não é suficiente para satisfazer as necessidades.

Em termos de precipitação, os valores considerados são os correspondentes à zona de Coimbra, representados no seguinte quadro:

Quadro 5 – Precipitação média (dados disponíveis em www.snirh.pt)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual (m^3)
Caudal (m^3/h)	17,12	17,39	8,77	15,35	12,16	6,08	1,35	2,25	8,90	18,94	19,76	20,48	108550

A água proveniente da mina apresenta um fluxo permanente, mas o seu caudal não é constante. Estas variações foram medidas ao longo do ano obtendo-se os seguintes valores:

Quadro 6 – Caudal proveniente da mina

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual (m^3)
Caudal (m^3/h)	12,32	12,32	12,32	12,07	10,00	9,12	9,03	8,00	8,00	8,64	10,42	12,32	90943

Ao analisar a tabela pode-se verificar que a disponibilidade de água é superior nos meses de inverno do que nos meses de verão, que é quando esta é mais necessária. Se tivermos em conta que durante o verão as necessidades máximas de água para rega são de 300 m^3/dia, ou seja, 12,5 m^3/h, podemos verificar que durante este período a água da mina não é suficiente para satisfazer as necessidades de rega, sendo necessário utilizar a água do furo.

No entanto, durante o inverno esta água não é utilizada, e acaba por escoar pelo sistema de drenagem do jardim que posteriormente se liga à rede municipal, desperdiçando cerca de 12,32 m^3/h de água.

5.3.2.3. Excedentes

Em termos de excedentes foram analisadas duas situações: o caudal existente na zona da mata e o caudal de saída de todo o jardim.

Na zona da mata foi utilizado como referencia o escoamento existente na caleira principal, para onde confluem a maior parte das águas desta zona e também a água proveniente do escoamento superficial do jardim. Este foi medido apenas em alguns meses durante o ano, pelo que para os meses em falta foi efectuada uma estimativa. Os resultados obtidos estão expressos no seguinte quadro:

Quadro 7 – Caudal existente na mata

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual (m^3)
Caudal (m^3/h)	13,22	13,22	13,22	13,22	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	7,00	13,22	13,22	74211

Ao analisar a tabela verifica-se que anualmente são direccionados para a rede pluvial cerca de 74211 m^3 de água.

As águas resultantes do escoamento superficial, tanto do jardim com da mata, convergem a jusante da mata, onde passam para a rede pluvial da cidade. Este caudal de saída do jardim, à semelhança da situação anterior, foi também medido, mas apenas em alguns meses, sendo os restantes determinados por estimativa. Os resultados obtidos encontram-se expressos no seguinte quadro:

Quadro 8 – Caudal de saída do jardim

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual (m^3)
Caudal (m^3/h)	27,30	27,30	25,00	23,00	17,00	13,00	13,00	13,00	13,00	17,00	20,00	27,30	172207

Como se pode verificar na tabela, o caudal resultante de todo o jardim que anualmente é direccionado para a rede pluvial é bastante significativo, representando quase o quádruplo do que é gasto em rega.

5.3.2.4. Conclusões

Analisando os consumos, disponibilidades e excedentes de água no jardim, pode-se efectuar o balanço da água (quadro 9), identificando-se duas situações sobre as quais se pode actuar no sentido eliminar os desperdícios de água no jardim.

A primeira é o caudal excedente da mina durante inverno. Este, uma vez que a qualidade da água do furo não representa um problema, pode ser reencaminhado e utilizado para a recarrega directa do furo, ficando disponível para futura utilização. Deste modo evitar-se-ia o desperdício de 12,32 m^3/h de água, durante os meses de inverno. Uma vez que o caudal disponível na zona da mata provém essencialmente do fluxo permanente da mina, ao direccionar a água da mina para o furo, o caudal restante não representaria um excedente significativo.

A segunda é o caudal de saída do jardim. Mesmo tendo em conta a sua redução, com o encaminhamento da água da mina para o furo, o desperdício é ainda bastante considerável, cerca de 97996 m^3 por ano. A solução proposta passa por recolher esta água, que pode ser reaproveitada e

utilizada em diversas situações, sendo que neste caso específico será conduzida para zonas de infiltração.

Quadro 9 – Balanço da água no Jardim

Origem	Caudal (m^3/ano)	Objectivos	Escoamento resultante (m^3/ano)
Precipitação	108550	Água consumida em rega ou infiltrada	0
Mina	90943	Água consumida em rega e quando em excesso (inverno) direccionada para o furo	0
Rega	45000	Água proveniente da mina, do furo e da precipitação	0
Mata	74211	Água proveniente maioritariamente da mina	-74211
Saída do Jardim	172207	Água recolhida e encaminhada para área de infiltração	**97996**

5.4. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

A intenção inicial do projecto era a criação de bacias de retenção e infiltração que além de promoverem a infiltração controlariam também o escoamento superficial, mas verificou-se que mesmo no inverno, em períodos de intensa precipitação, o escoamento superficial existente não justificava a sua implementação, uma vez que a maior parte da água se infiltra no solo.

No entanto, no seguimento do projecto que está actualmente em implementação no Jardim Botânico, a zona da mata será também aberta ao público, o que representaria uma limpeza e maior manutenção desta área em geral. Tendo em conta os declives acentuados que caracterizam esta zona, a alteração da sua situação actual pode significar também uma alteração dos processos naturais que nela ocorrem, nomeadamente uma redução da infiltração e consequente aumento do escoamento superficial. Neste caso, justifica-se a criação de áreas ou canais de infiltração para o controlo do escoamento, no local e a jusante, e para a promoção de infiltração.

Existe ainda um caudal significativo, de água proveniente de todo o jardim, a ser direccionado para a rede de drenagem que pode ser recolhido e conduzido para uma área de infiltração.

A proposta de intervenção consiste então em criar zonas de infiltração, que além de recolherem a água das áreas adjacentes, receberão também a água recuperada à saída do jardim, repondo na natureza a água que dela se retira e "fechando" o ciclo da água no jardim.

A área a intervir (figura 51) será então a mata, mais especificamente a zona onde se situa a caleira principal, para onde confluem a maior parte das águas desta zona e também a água proveniente do escoamento superficial do jardim formal.

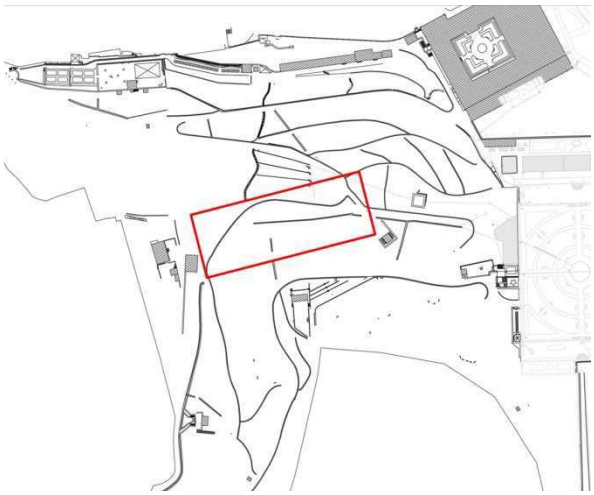


Figura 51 – Área de intervenção

O objectivo proposto era infiltrar um volume de água equivalente ao que é utilizado em rega de modo a equilibrar o balanço da água no jardim. De acordo com as análises de solo efectuadas, a avaliação do actual balanço hídrico do jardim, e a área de intervenção, verificou-se que é possível infiltrar o dobro da água gasta em rega no jardim, tornando o seu balanço hídrico positivo.

A intervenção proposta (Anexo II) consiste na reconstrução da caleira principal, que actualmente apresenta um carácter muito artificial, constituída em betão, transformando-a num canal de infiltração, mais orgânico, que representa um maior contributo para o natural funcionamento do ciclo hidrológico no jardim. Será também criada uma pequena bacia de infiltração que permitirá a recolha das águas que saem do canal, especialmente útil em situações de maior fluxo, que será ligada à rede de drenagem do jardim, para descarga do volume de escoamento, caso este seja superior à sua capacidade de armazenamento. Propõe-se ainda a articulação desta zona com a rede de caminhos existente através de caminhos de terra batida ou pequenas pontes em madeira, de modo a não interferir com as dinâmicas de drenagem.

O ponto de recuperação da água situa-se no limite inferior do jardim pelo que para a sua reutilização esta terá que ser bombada para cotas superiores (figura 52). Para tal, no âmbito da sustentabilidade do jardim, opta-se pela utilização de energias renováveis, propondo-se neste caso a utilização de um aerogerador. A água bombada será conduzida para o tanque do bambuzal, situado na zona superior da mata, e deste será encaminhada para o canal de infiltração.

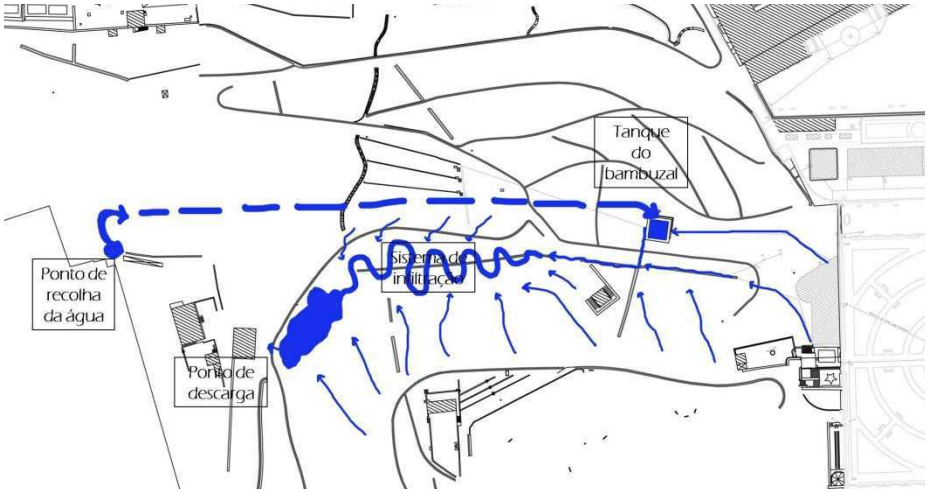


Figura 52 – Sistema de circulação da água proposto para o jardim.

A vegetação proposta teve em conta a sua adaptação, tanto a ao clima existente como à situação hídrica criada, sendo composta por espécies arbustivas e herbáceas que se enumeram de seguida:

Arbustos

- *Tamarix africana*
- *Viburnum tinus*

Herbáceas

- *Deschampsia cespinosa*
- *Iris pseudacorus*
- *Juncus effusus*
- *Thalictrum aquilegiifolium*
- *Trollius europaeus*

6. CONCLUSÃO

A crescente urbanização a que se tem vindo a assistir, teve fortes impactos prejudiciais tanto para o meio ambiente como para a sociedade. A progressiva impermeabilização das superfícies provoca alterações profundas no ciclo hidrológico, com graves repercussões na disponibilidade e qualidade do recurso água, não só a nível local mas também global, e põe em risco o bem-estar da população, com o aumento e maior frequência de ocorrência de cheias e inundações. As áreas urbanas cada vez mais densas, relegam os espaços verdes, imprescindíveis na melhor qualidade de vida urbana, para segundo plano, colocado em causa o equilíbrio fundamental entre o homem e o ambiente na cidade.

Os espaços verdes urbanos revelam-se como uma componente fundamental na redução dos efeitos nocivos da cidade no ambiente, e consequentemente na promoção da sustentabilidade em meio urbano, destacando-se neste trabalho a sua influência na hidrologia urbana e no melhor funcionamento do ciclo hidrológico global, assim como no melhoramento da qualidade da água.

No entanto, é importante destacar, que apesar do seu incontestável contributo na melhoria da qualidade ambiental da cidade e na promoção de um desenvolvimento mais sustentável, os espaços verdes e a sua relação com a água, é muitas vezes incomportável, tanto económica como ecologicamente, pelo que promover o uso equilibrado da água em espaços verdes se torna numa prioridade.

É então imprescindível garantir a sustentabilidade dos espaços verdes, particularmente nos aspectos relacionados com a água. Neste sentido e a partir da informação reunida, foram propostas medidas para promover o uso sustentável da água em espaços verdes e o natural funcionamento do ciclo hidrológico em meio urbano, nomeadamente a utilização de sistemas de drenagem permeáveis, a criação de bacias de retenção e infiltração, a utilização de águas não potáveis, a escolha adequada de vegetação e a utilização de sistemas de rega mais eficientes.

A aplicação das medidas propostas ao Jardim Botânico de Coimbra tornou-o auto-suficiente em água, com a utilização de fontes de água não potáveis, e permitiu uma redução muito significativa do consumo de água, com a automatização do sistema de rega. O jardim deixou por isso de depender do abastecimento da rede pública, eliminando os consequentes custos associados.

Adicionalmente, a criação na mata de uma zona de infiltração para reaproveitamento do caudal de saída do jardim, com o objectivo de equilibrar o ciclo da água no jardim (entradas e saídas), possibilitou não só a reposição da água utilizada na rega, como ainda compensar parte da impermeabilização circundante. A quantidade de água devolvida ao ciclo hidrológico é superior à que é retirada, tornando o balanço da água no jardim positivo e contribuindo para a redução da pegada ecológica da cidade de Coimbra.

A adopção deste tipo de estratégias apresenta benefícios económicos e ambientais, que se reflectem não só no meio urbano mas também no meio natural, representando uma contribuição extremamente importante na redução da pegada ecológica das cidades. No que diz respeito aos consumos de água em espaços verdes e melhor funcionamento da hidrologia urbana, os proveitos da implementação destas medidas são praticamente imediatos, representando ainda, no que diz respeito às futuras disponibilidades da água no planeta, um "investimento" que apesar de ser a longo prazo, é extremamente necessário.

Destaca-se assim a importância da compensação dos efeitos da urbanização, através da recuperação ou manutenção do ciclo hidrológico urbano, especialmente na construção de novos espaços urbanos, em que a compensação dos seus efeitos futuros no ciclo hidrológico deve estar incluída no projecto.

O factor sustentabilidade deve estar integrado em todas as fases do projecto de espaços verdes urbanos, desde a concepção à execução, no qual o papel do arquitecto paisagista é fundamental para a articulação dos vários componentes que concorrem para a sua sustentabilidade, sem esquecer as questões estéticas e funcionais, o que permite o reconhecimento do ciclo da água como parte integrante da cidade por parte da sociedade urbana, sensibilizando-a para a importância da sua existência e manutenção.

7. BIBLIOGRAFIA

Almeida, A.L.B.S.S.S.L. (2006). O valor das árvores: Árvores e floresta urbana de Lisboa. Tese de Doutoramento em Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 344 pp.

Anderson, L.M., Mulligan, B.E. e Goodman, L.S., 1984. Effects of vegetation on human response to sound. Journal of Arboriculture 10(2): 45-49. Disponível em: http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=1931&Type=2. Acesso em: 21-11-2009.

APRH, Associação Portuguesa de Recursos hídricos. Águas subterrâneas. Disponível em: http://www.aprh.pt/pdf/aprh_agsubt.pdf. Acesso em: 12-01-2010.

Araújo, I.A., 1962. Arte Paisagista e Arte dos Jardins em Portugal. Direcção Geral dos Serviços de Urbanização, Centro de Estudos de Urbanismo, Lisboa.

Araújo, P.R., Tucci, C.E.M. e Goldenfum, J.A., 2000. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. RBRH volume 5 nº3: 21-28. Disponível em: http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/PAVIMENTOS.PDF. Acesso em: 2-12- 2009.

Arnoldus, H.M.J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to the sheet and rill erosion in Morocco. FAO Soils Bulletin, Assessing soil degradation nº 34: 39-48.

Bachmann G., 2007. A sustentabilidade da água. Arquitectura e Vida 84: 20-24. Disponível em: http://home.fa.utl.pt/~ciaud/res/paper/REF.%20BH%2003%20.pdf. Acesso em: 21-10-2009.

Baptista, J.M., Almeida, M.C., Vieira, P., Silva, A.C.M., Ribeiro, R., Fernando, R.M., Serafim, A., Alves, I. e Cameira, M.R., 2001. Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (Versão preliminar). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa. 204 pp. Disponível em: http://www.inag.pt/inag2004/port/quem_somos/pdf/uso_eficiente_agua.pdf. Acesso em: 9-12-2009.

Barbosa, A.E. e Hvitved-Jacobsen, T., 2000. Projectar bacias de infiltração para a gestão de águas pluviais urbanas. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa. 15 pp. Disponível em: http://www.aprh.pt/congressoagua2000/comunic/14.pdf. Acesso em: 8-12-2009.

Borges, A.E. (2005). A Xerojardinagem ou A Construção de Jardins com Pouca Rega. Apenas Livros, Lisboa. 24 pp.

Brown, C., Gerston J. e Colley, S., 2005. Rainwater Harvesting System Components. In The Texas Manual on Rainwater Harvesting, pp. 5-20. Texas Water Development Board, Austin, Texas. Disponível em: http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf. Acesso em: 9-12-2009.

Brundtland, G.H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S.A., Casanova, P.G., Chidzero, B.T.G., Padika, L.M., Hauff, V., Lang, I., Shijun, M., Botero, M.M., Singh, N., Nogueira-Neto, P., Okita, S., Ramphal, S.S., Ruckelshaus, W.D., Sahnoun, M., Salim, E., Shaib, B., Sokolov, V., Stanovnik, J., Strong, M., MacNeill, J., 1987. Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development. Genebra, Suíça. Disponível em: http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm. Acesso em: 20-10-2009.

Cabral, F.C. e Telles, G.R. (2005). *A Árvore em Portugal*. Assírio & Alvim, Lisboa. 203 pp.

Castel-Branco, C., Soares, A.L. e Chambel, T., 2009. Eight Portuguese Historic Gardens: A Lesson in Local Water Supply. Proceedings of the 2nd Asian Academy for Heritage Management Conference "Urban Heritage and Tourism: Challenges and Opportunities". Institute for Tourism Studies, Macao SAR, China. pp. 48-58.

Castro, L.F.T., 2000. As plantas autóctones na composição dos espaços verdes urbanos. In 3º. Encontro Nacional de Plantas Ornamentais, Comunicações, APHE, Lisboa. pp. 301-305.

Chambel, T., Manso, F., Soares, A.L. e Lima, I., 2009. Projecto de execução do sistema de rega para o Jardim Botânico de Coimbra. Associação Portuguesa de Jardins e Sítios Históricos, Lisboa. (relatório não publicado)

Colorado Water Wise, 2008. Xeriscape Principles. Disponível em: http://coloradowaterwise.org//index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=72&Itemid=245. Acesso em: 15-10-2009.

Cook, D.I. e Van Haverbeke, D.F. (1977). Suburban Noise Control with Plant Materials and Solid Barriers. Proceedings of the conference on metropolitan physical environment, Heisler, G.M., Herrington, L.P., (eds.), Upper Darby, Pensilvânia, U.S.A. pp. 234-241. Disponível em: http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne25/gtr_ne25_234.pdf. Acesso em: 21-11-2009.

Costa, J.V.B., 1991. Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 527 pp.

Cruz, M.A.S., Araújo, P.R. e Souza, V.C.B., 1999. Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem. In XIII Simpósio Brasileiro dos Recursos Hídricos, Belo Horizonte. ABRH, Porto Alegre, Brasil. 21 pp. Disponível em: http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/Vladimir_Caramori/ESTRUTURAS_%20CONTROLE_ESCOAMENTO_URBANO_MICRODRENAGEM.pdf. Acesso em: 17-12-2009.

Cunha, V., 2007. Plano de Urbanização da Cidade de Coimbra. Câmara Municipal de Coimbra. Disponível em: http://www.cm-coimbra.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=816&Itemid=490. Acesso em: 23-01-2010.

Dunnett, N. e Clayden, A., 2007.Rain Gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscape. Timber Press, Portland,Oregon. 188 pp.

Dwyer, J.F., McPherson, E.G., Schroeder, H.W. e Rowntree, R.A., 1992. Assessing the benefits and costs of the urban forest. Journal of Arboriculture 18(5): 227-234. Disponível em: http://esrm200.jamesalutz.com/Dwyer_et_al_Benefits_Costs_JOA_1992.pdf. Acesso em: 21-11-2009.

Edwards, B., 2005. Guía básica de la sosteniblidad. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona. 121 pp.

Falcón, A., 2007. Espacios verdes para una ciudad sostenible – Planificatión, proyecto, mantenimiento y gestión. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona.175 pp.

Filho, J.G. e Medeiros, V.V.R., 2004. Gestão da água em meio urbano e controle de inundações. In Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, Florianópolis. pp. 443-453. Disponível em: http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/cd/EIXO%203_OK/3-33.pdf. Acesso em: 3-12-2009.

Galvão, A.F., Valério, P.D. e Matos, J.S., 2000. Gestão integrada de águas pluviais em meio urbano: As soluções de controlo na origem. Boletim Lisboa Urbanismo nº 9. Disponível em: http://ulisses.cm-lisboa.pt/data/002/003/003/artigo.php?ml=2&x=b11a1pt.xml. Acesso em: 10-01-2010.

Henriques, J., 1876. O Jardim Botânico de Coimbra. Imprensa da Universidade. Coimbra.

Hough, M., 1998. Naturaleza y Ciudad: Planificación urbana y procesos ecológicos. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona. 315 pp.

Lima, I.S.M.C.M.P, 2008. A salvaguarda da Paisagem no Âmbito do Património Cultural: A Abordagem ao Jardim Botânico de Coimbra. Tese de Mestrado em Conservação e Recuperação do Património Construído, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Madeira, M., Arruda, C. e Cortez, N., 2008. Introdução ao estudo do solo. Relatório para uma aula da disciplina de Solos e Nutrição Vegetal. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Magalhães, M.M.R., 1992a. A Evolução do Conceito de Espaço Verde Público Urbano. AGROS nº2: 10-18.

Magalhães, M.M.R., 1992b. *O Clima e o Microclima como factores de Ordenamento do Território*. Relatório para uma aula da disciplina de Ordenamento do Território I. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa

Magalhães, M.M.R., 2001. *A Arquitectura Paisagista, morfologia e complexidade*. Editorial Estampa, Lisboa. 525 pp.

Marques, T.P., 2009. Sustentabilidade no projecto de arquitectura paisagista: Redundância ou extravagância?. 6º Congresso ibero-americano de parques e jardins públicos, A sustentabilidade dos espaços verdes urbanos, comunicações volume I, Câmara Municipal da Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Lanhoso. pp. 39-45.

Matias, M.G.B., 2006. Bacias de Retenção: estudo de métodos de dimensionamento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, especialidade de Vias de Comunicação. Faculdade de Engenharia, Porto. Disponível em: http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11929/2/Texto%20integral.pdf. Acesso em: 8-12-2009.

Monteiro, F.A.M.P.T., (2003). *Para uma cidade Sustentável: Perspectivas de integração do conceito de estrutura verde*. Dissertação de Mestrado em Planeamento regional e urbano, Instituto Superior de Agronomia, Instituto Superior de Economia e Gestão, Instituto Superior Técnico, Instituto Superior de Ciências Sociais e Politicas, Faculdade de Arquitectura, Lisboa. 136 pp.

Pimenta, M.T., 1998. Directrizes para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos em SIG: Factor de Cultura C e factor de Erodibilidade do Solo K. INAG, Lisboa. Disponível em: http://snirh.inag.pt/snirh/download/relatorios/factorC_K.pdf. Acesso em: 12-01-2010.

Póvoas, I. e Barral, M.F., 1992. Métodos de Analise de Solos. Comunicações do Instituto de Investigação Cientifica Tropical, Serie de Ciências Agrárias, nº 10.

Ribeiro, L.P.A.F., 1992. Sistemas de Água em Composição Paisagística: aspectos técnicos e funcionais. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica – Aula teórico-prática, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 41pp.

Rogers, R. e Gumuchdjian, P. (2001). Cidades para um pequeno planeta. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona. 180 pp.

Santos, D.C., 2002. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. Ambiente Construído v.2 nº 4: 7-18. Disponível em: http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/download/3429/1847. Acesso em: 2-12-2009.

Silva, B.A., 2008. Supermodernidade em Arquitectura Paisagista: Discussão do Contemporâneo na Condição Supermodernista. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Soares, A.L. e Castel-Branco, C., 2007. As árvores da cidade de Lisboa. In Floresta e Sociedade. Uma história em comum, Silva, J.S. (coord.), pp. 289-334. Público, Comunicação Social, SA, Lisboa.

Soares, A.F., Marques, J.F. e Sequeira, A.J.P., 2007. Carta geológica de Portugal na escala 1:50000. Notícia Explicativa da Folha 19-D Coimbra-Lousã. Lisboa.

Souza, V.C.B., 2002. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. Tese de Doutoramento em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 127 pp. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3006/000330321.pdf?sequence=1. Acesso em: 17-12-2009.

Souza, V.C.B. e Goldenfum, J.A., 1999. Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: Um estudo experimental. In XIII Simpósio Brasileiro dos Recursos Hídricos, Belo Horizonte. ABRH, Porto Alegre, Brasil. 11 pp. Disponível em: http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/Vladimir_Caramori/TRINCHEIRAS_INFILTRACAO_ELEMENTO_CONTROLE_ESCOAMENTO_SUPERFICIAL.pdf. Acesso em: 19-12-2009.

Terêncio, M.H., Campino, R., Duarte, C., China, I., Luís Figueira, L. e Simões, J., 2008. Plano Director Municipal de Coimbra, Câmara Municipal de Coimbra. Disponível em: http://www.cm-coimbra.pt/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=216&Itemid=320. Acesso em: 20-01-2010.

Tucci, C.E.M., 2002. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Fórum Brasileiro de mudanças climáticas, Câmara Temática sobre Recursos Hídricos, Brasília. 150 pp. Disponível em: http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/relclima.PDF. Acesso em: 8-12-2009.

Tucci, C.E.M., 2003a. Inundações e drenagem urbana. In: Inundações Urbanas na América do Sul. Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. (eds.), pp. 45-141. ABRH, Porto Alegre, Brasil. Disponível em: http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/DisciplinaDrenagem.pdf. Acesso em: 3-12-2009.

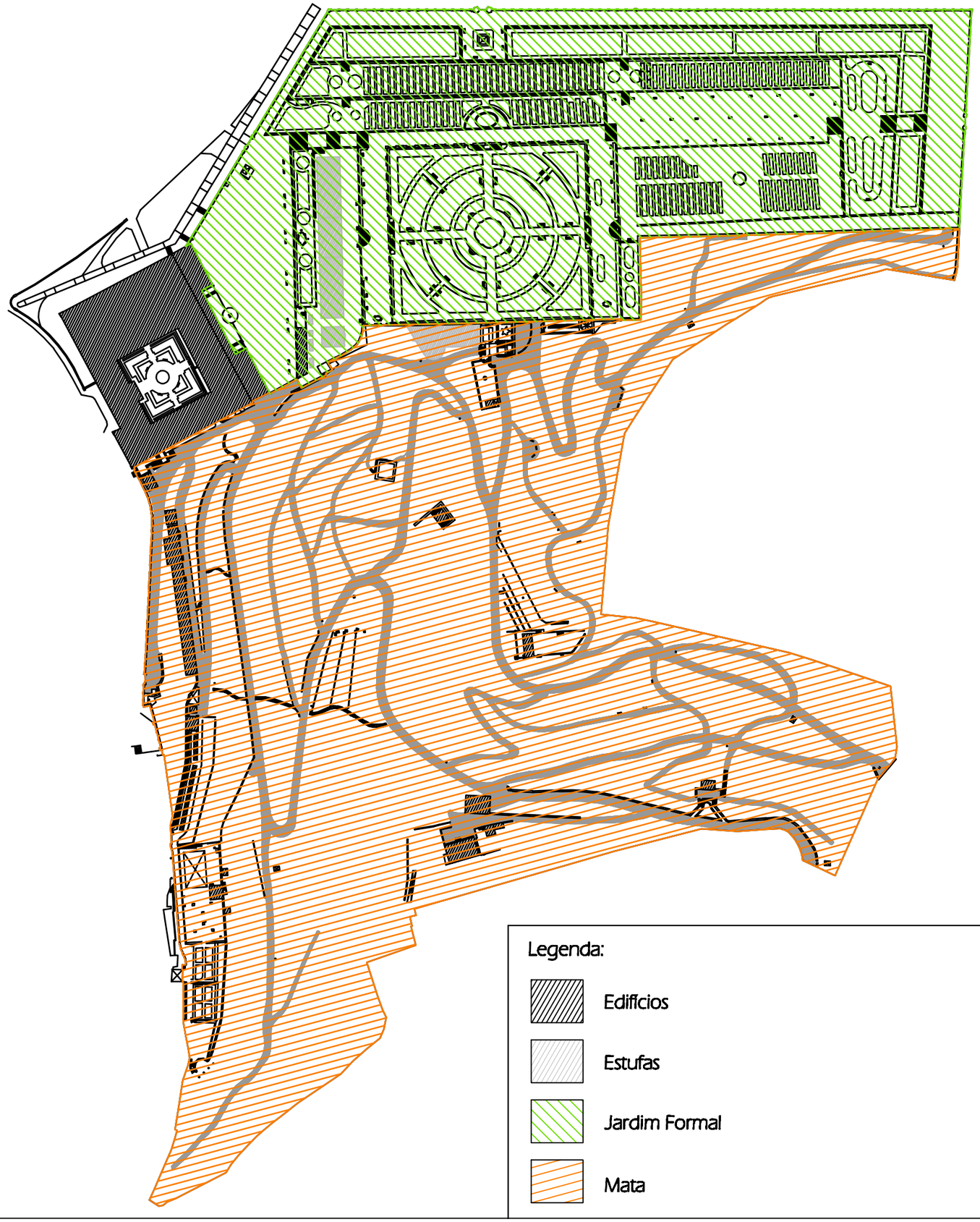
Tucci, C.E.M., 2003b. Águas urbanas. In: Inundações Urbanas na América do Sul. Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. (eds.), pp. 11-44. ABRH, Porto Alegre, Brasil. Disponível em: http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/DisciplinaDrenagem.pdf. Acesso em: 3-12-2009.

Wischmeier, W.H. e Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation. Agriculture Handbook 537, United State Department of Agriculture, Washington, DC.

WRB, 2006. World reference base for soil resources. Disponível em: http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2006final.pdf. Acesso em: 20-01-2010.

ANEXOS

ANEXO I_ PLANTAS DO JARDIM BOTÂNICO DE COIMBRA



Legenda:

- Edifícios
- Estufas
- Jardim Formal
- Mata

Jardim Botânico de Coimbra[1]

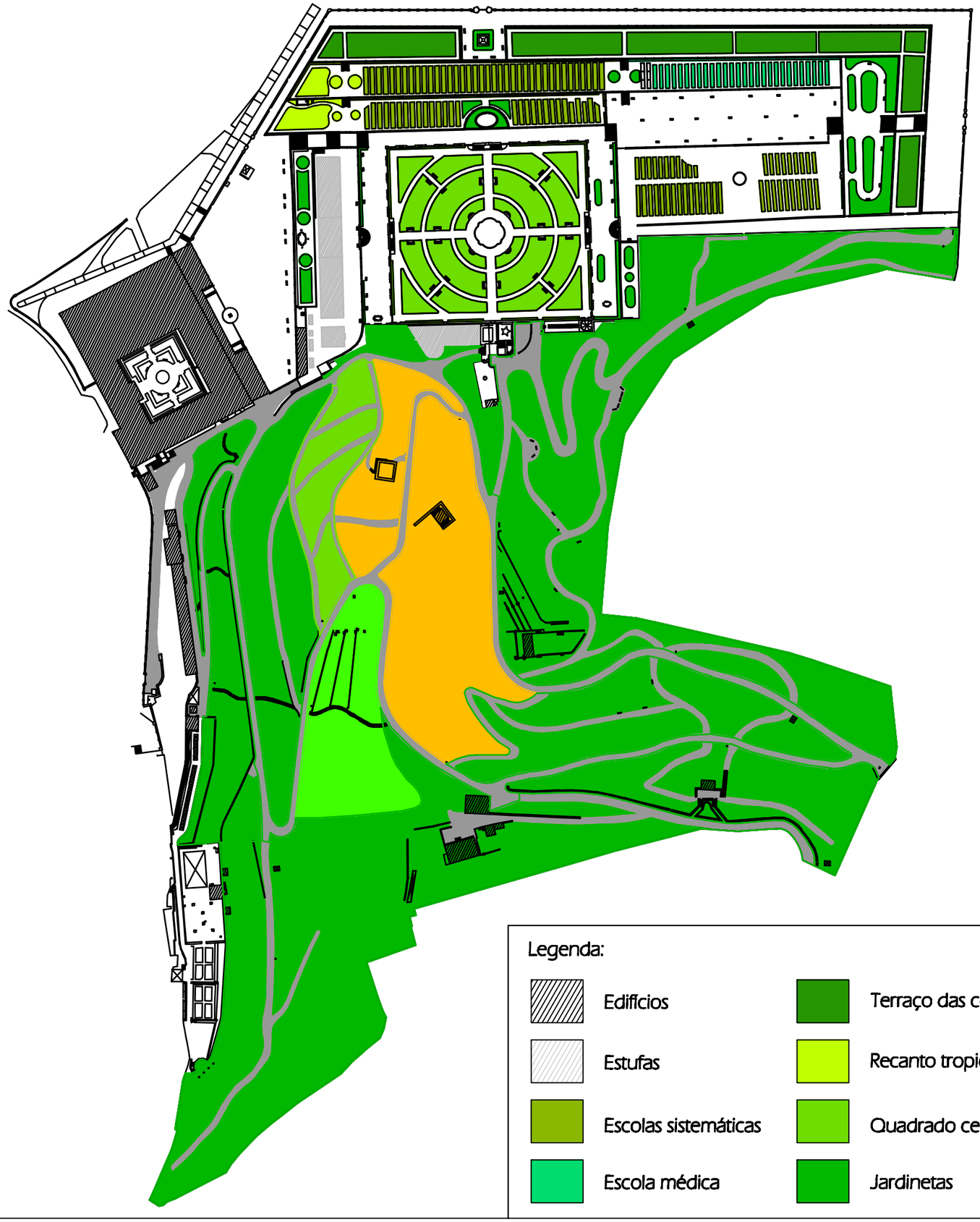
Planta de zonamento I

Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 1

Mafalda Jácome

[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.



Legenda:

- Edifícios
- Estufas
- Escolas sistemáticas
- Escola médica
- Terraço das coníferas
- Recanto tropical
- Quadrado central
- Jardinetas
- Bambuzal
- Pomar
- Escola das Monocotiledóneas
- Mata

Jardim Botânico de Coimbra[1]

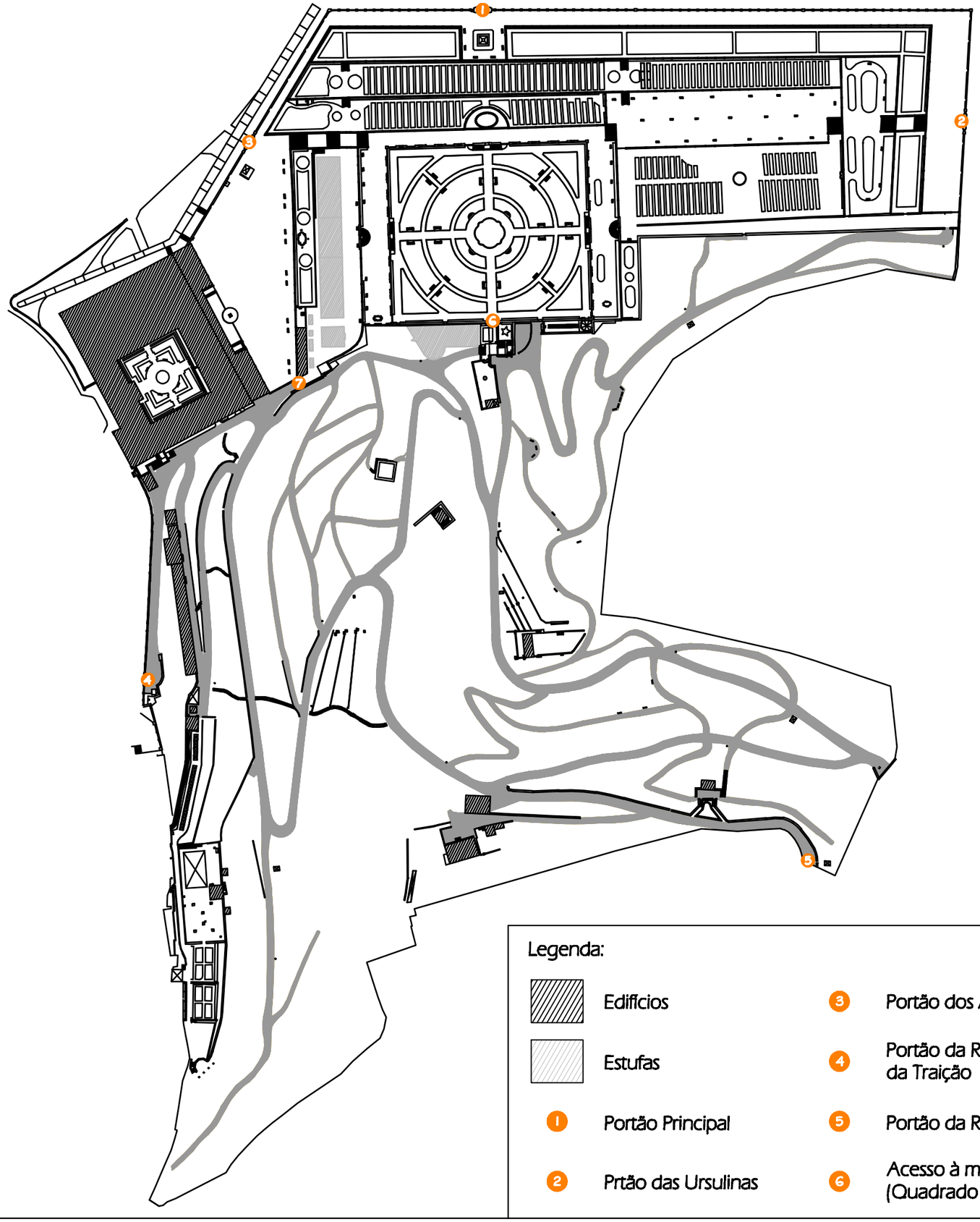
Planta de zonamento II

Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 2

Mafalda Jácome

[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.



Legenda:

- Edifícios
- Estufas
- 1 Portão Principal
- 2 Prtão das Ursulinas
- 3 Portão dos Arcos
- 4 Portão da Rua do Arco da Traição
- 5 Portão da Rua da Alegria
- 6 Acesso à mata (Quadrado cantral)
- 7 Acesso à mata (Departamento de Botânica)

Jardim Botânico de Coimbra[1]

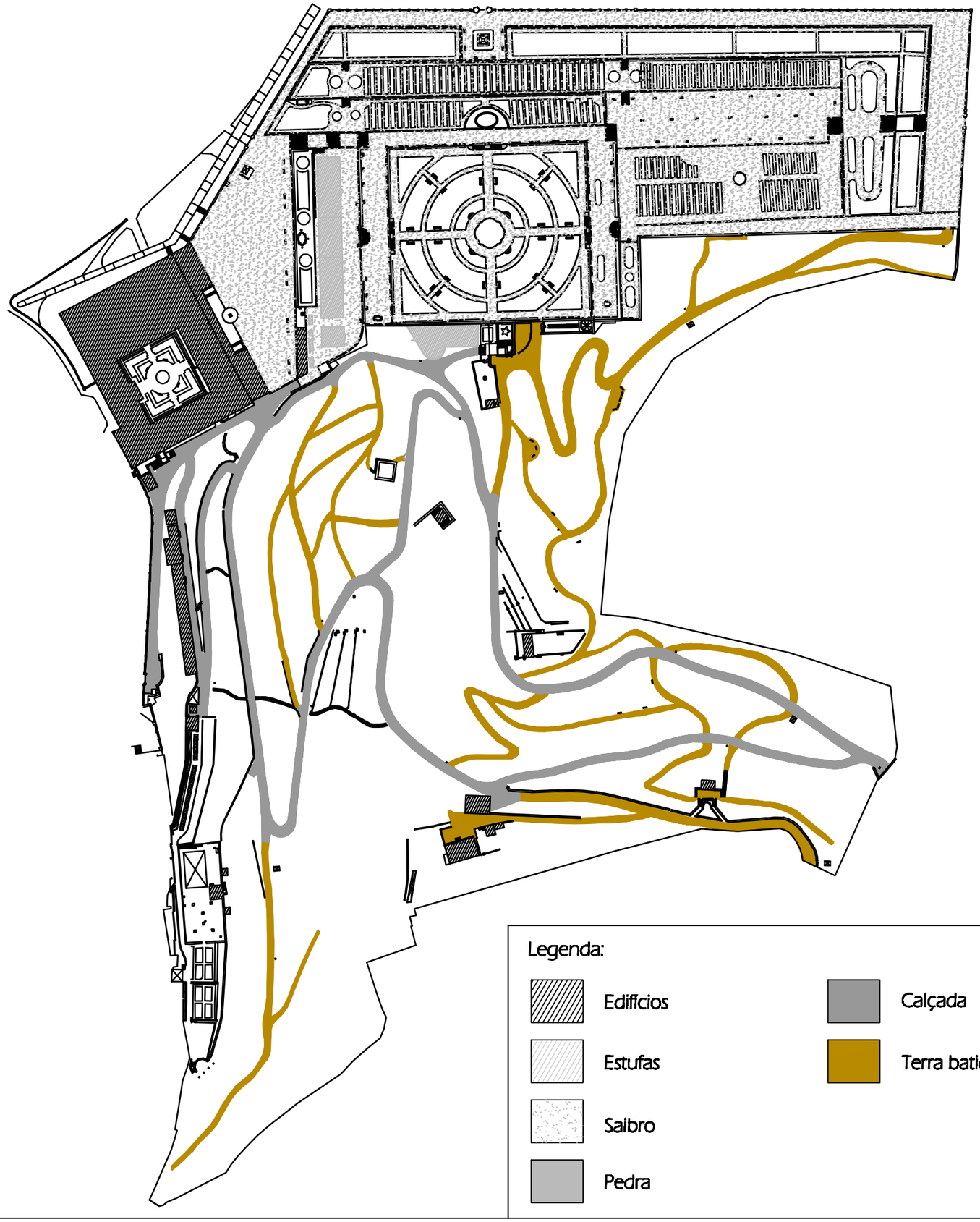
Planta de acessos

Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 3

Mafalda Jácome

[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.



Legenda:

- Edifícios
- Estufas
- Saibro
- Pedra
- Calçada
- Terra batida

Jardim Botânico de Coimbra[1]

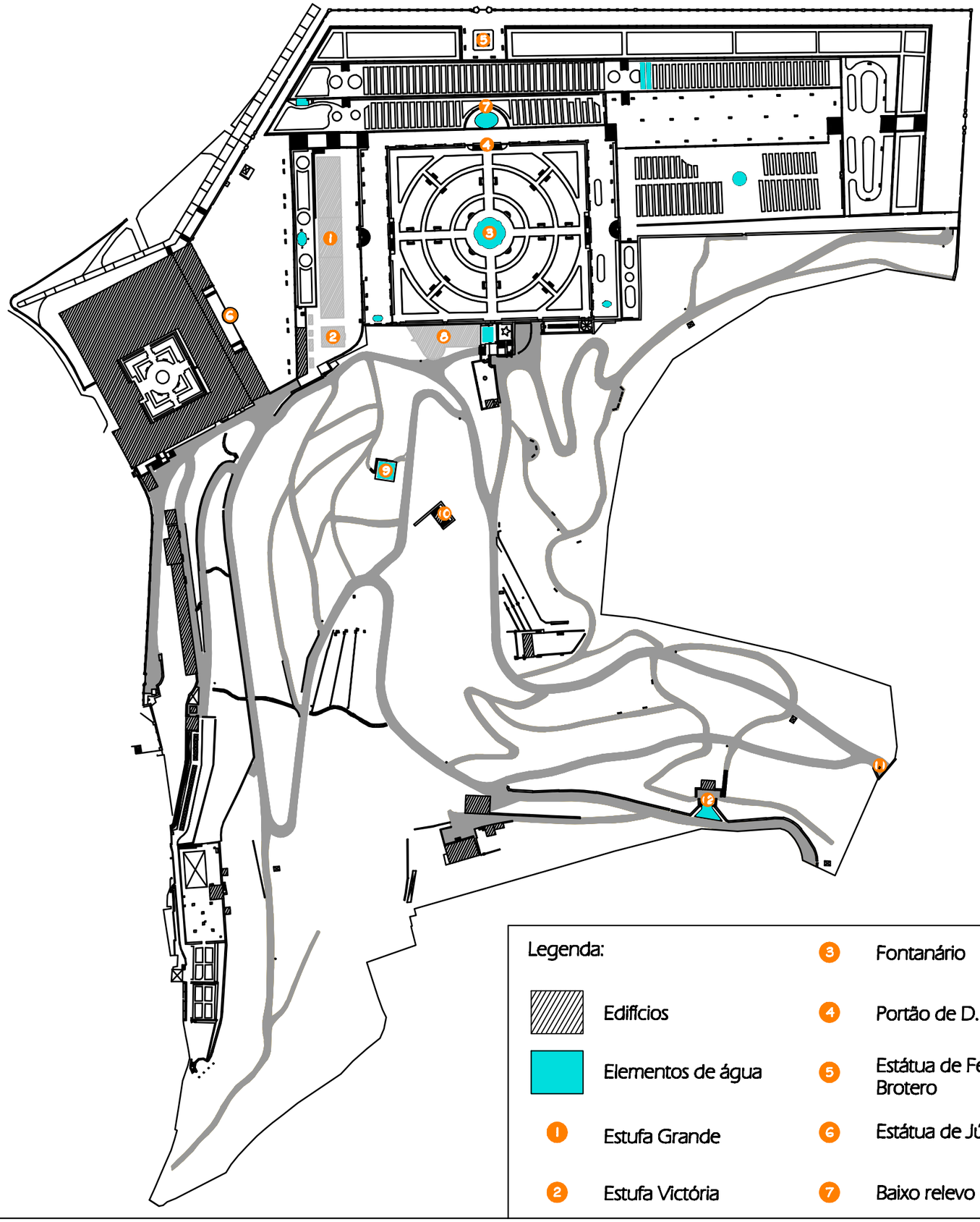
Planta de pavimentos

Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 4

Mafalda Jácome

[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.



Legenda:

- Edifícios
- Elementos de água
- 1 Estufa Grande
- 2 Estufa Victória
- 3 Fontanário
- 4 Portão de D. Maria I
- 5 Estátua de Félix Avelar Brotero
- 6 Estátua de Júlio Henriques
- 7 Baixo relevo de Luís Carrisso
- 8 Estufa Fria
- 9 Tanque do Bambuzal
- 10 Capela de S. Bento
- 11 Miradouro
- 12 Fonte dos Três Bicos

Jardim Botânico de Coimbra[1]

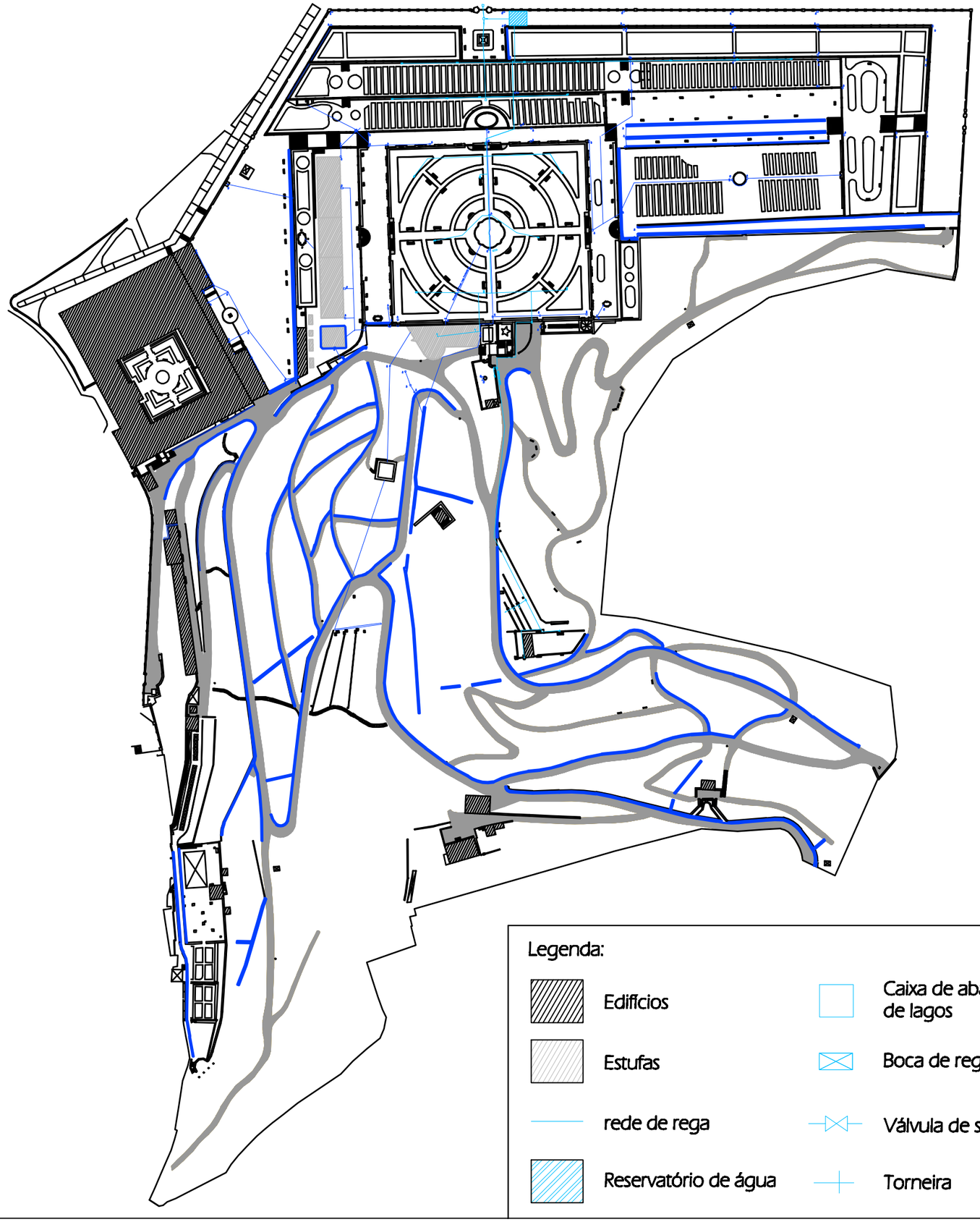
Planta de elementos construídos

Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 5

Mafalda Jácome

[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.



Legenda:

- Edifícios
- Estufas
- rede de rega
- Reservatório de água
- Caixa de abastecimento de lagos
- Boca de rega
- Válvula de seccionamento
- Torneira
- Rede de drenagem
- Caleiras
- CD Caixa de descarga de lagos
- CP Caixa pluvial

Jardim Botânico de Coimbra[1]

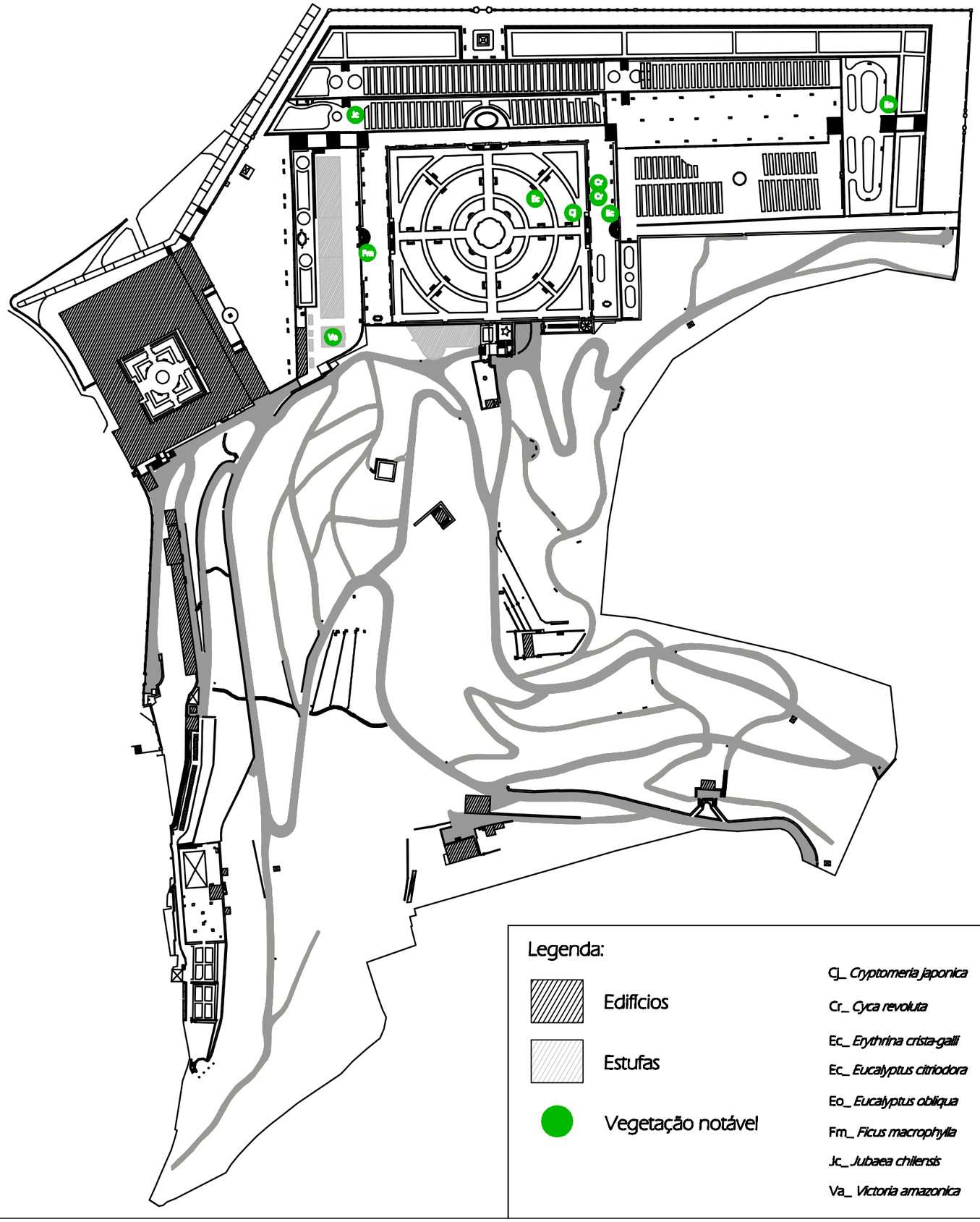
Planta de sistema hidráulico

Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 6

Mafalda Jácome

[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.



Legenda:

Edifícios

Estufas

Vegetação notável

Cj_ *Cryptomeria japonica*

Cr_ *Cyca revoluta*

Ec_ *Erythrina crista-galli*

Ec_ *Eucalyptus citriodora*

Eo_ *Eucalyptus obliqua*

Fm_ *Ficus macrophylla*

Jc_ *Jubaea chilensis*

Va_ *Victoria amazonica*

Jardim Botânico de Coimbra[1]

Planta de vegetação notável

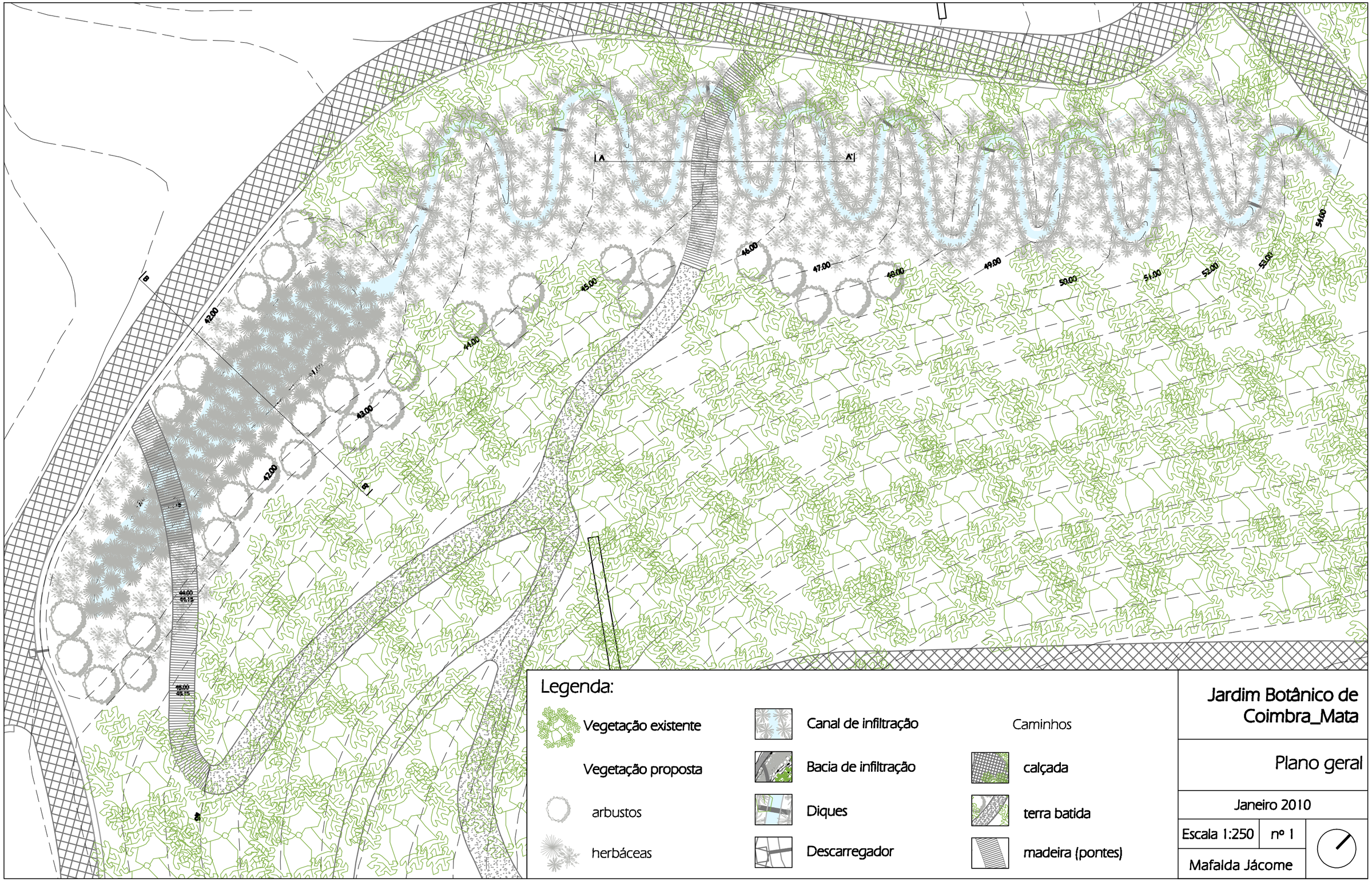
Janeiro 2010

Escala 1:2000 | nº 7

Mafalda Jácome

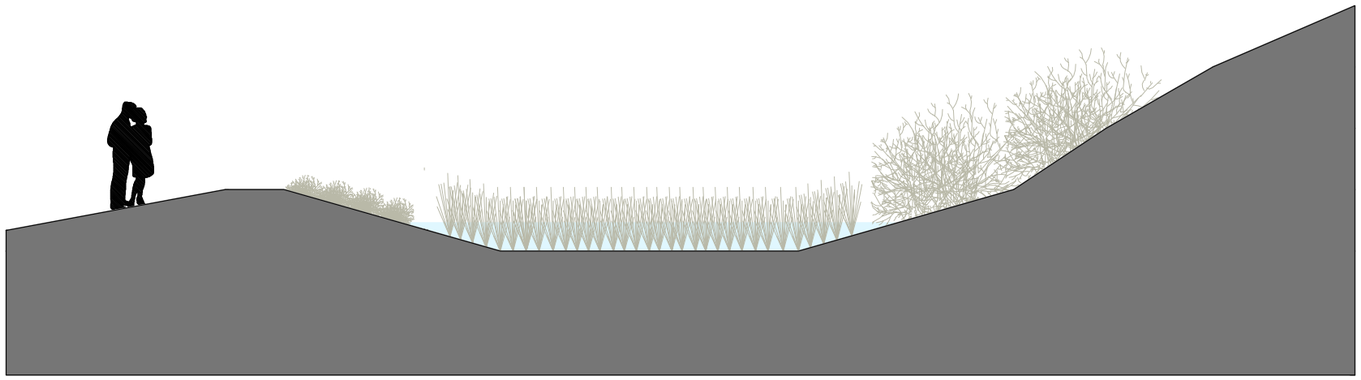
[1] Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina de História de Arte dos Jardins II, no ano lectivo 2007/2008, em conjunto com Hugo Nunes e Manuel Lopes.

ANEXO II_ PEÇAS DESENHADAS


A
A'
B
B'
42.00
43.00
44.00
45.00
46.00
47.00
48.00
49.00
50.00
51.00
52.00
53.00
54.00
44.00
44.15
45.00
45.15
Legenda:
Vegetação existente
Vegetação proposta
arbustos
herbáceas
Canal de infiltração
Bacia de infiltração
Diques
Descarregador
Caminhos
calçada
terra batida
madeira (pontes)
Jardim Botânico de Coimbra_Mata
Plano geral
Janeiro 2010
Escala 1:250
nº 1
Mafalda Jácome

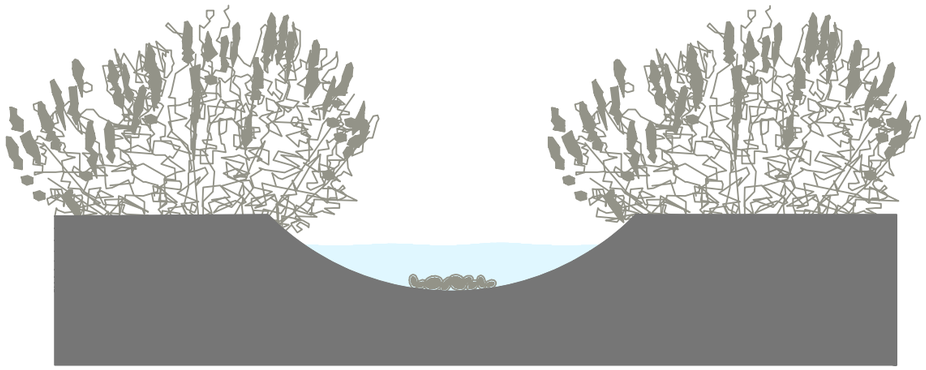
Corte A - A'

Escala 1:100



Corte B - B'

Escala 1:100



Canal de infiltração

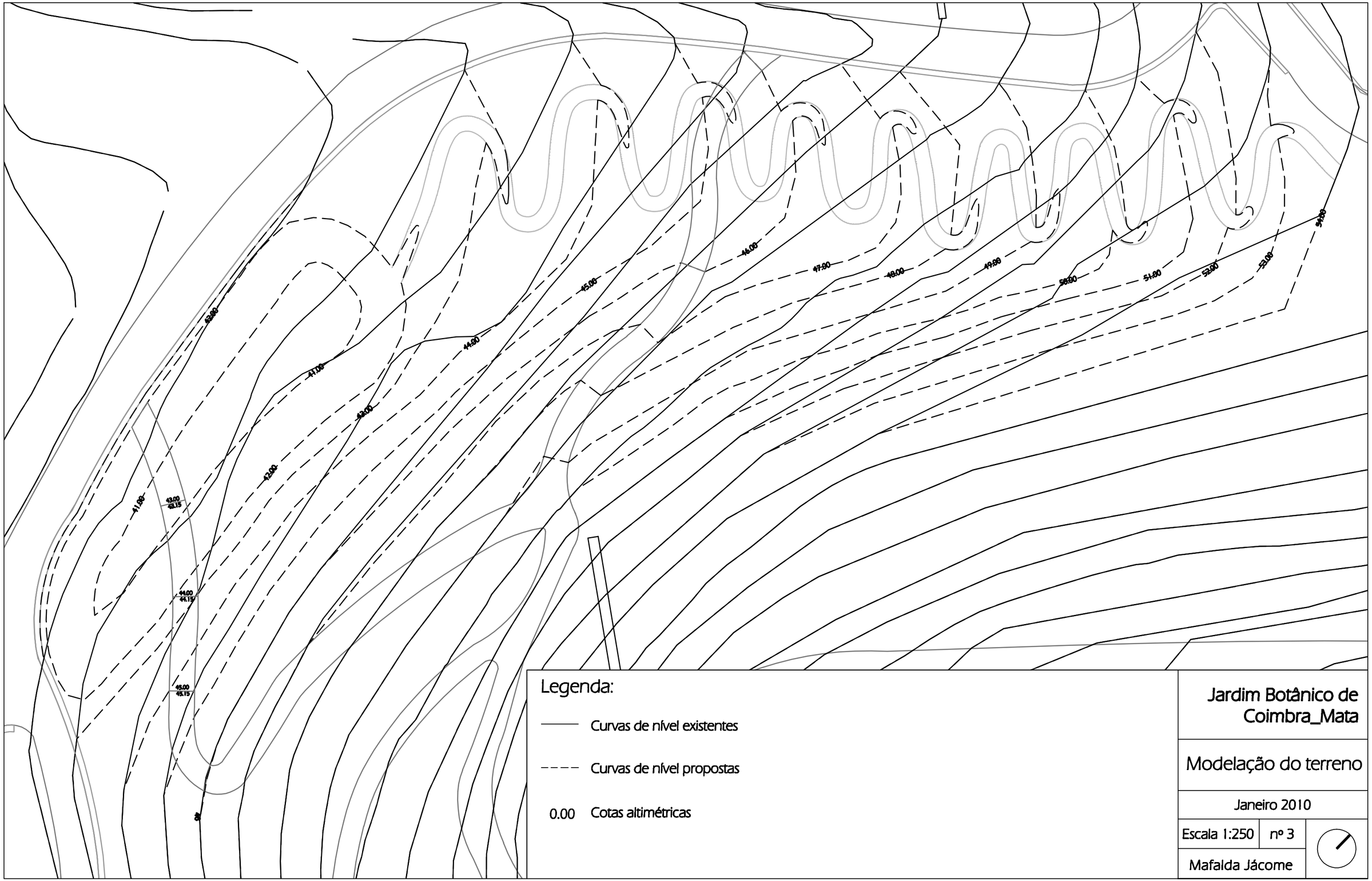
Escala 1:20

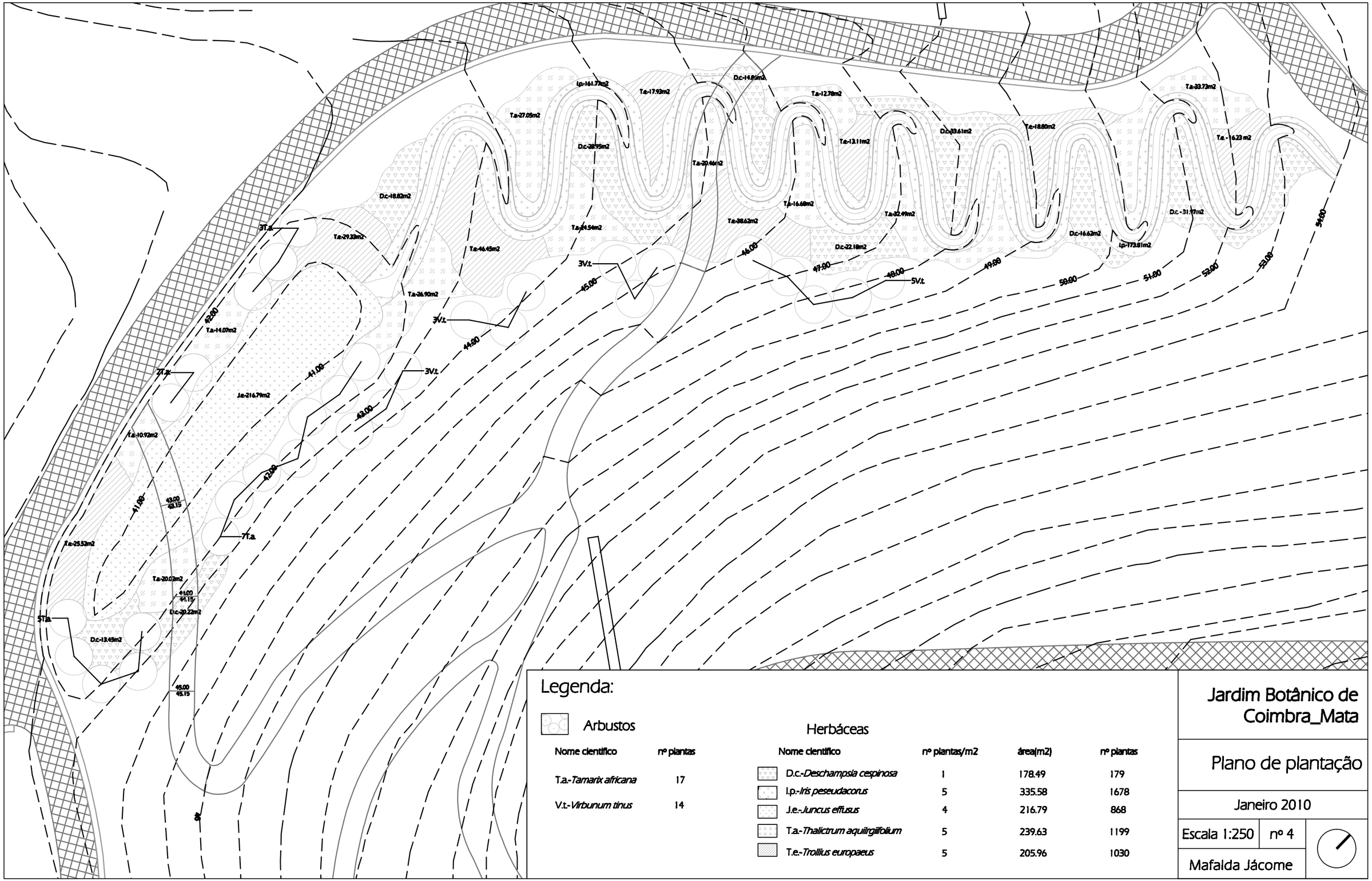
Jardim Botânico de Coimbra_Mata

Cortes e promenores

Janeiro 2010

Escala	nº 2
Mafalda Jácome	


41.00
42.00
43.00
43.15
44.00
44.15
45.00
45.15
46.00
47.00
48.00
49.00
50.00
51.00
52.00
53.00
54.00
Legenda:
Curvas de nível existentes
Curvas de nível propostas
0.00 Cotas altimétricas
Jardim Botânico de Coimbra_Mata
Modelação do terreno
Janeiro 2010
Escala 1:250
nº 3
Mafalda Jácome



Legenda:

Arbustos

Nome cientifico	nº plantas
T.a.-*Tamarix africana*	17
V.t.-*Virburnum tinus*	14

Herbáceas

Nome cientifico	nº plantas/m2	área(m2)	nº plantas
D.c.-*Deschampsia cespinosa*	1	178.49	179
I.p.-*Iris peseudacorus*	5	335.58	1678
J.e.-*Juncus effusus*	4	216.79	868
T.a.-*Thalictrum aquilirgifolium*	5	239.63	1199
T.e.-*Trollius europaeus*	5	205.96	1030

Jardim Botânico de Coimbra_Mata

Plano de plantação

Janeiro 2010

Escala 1:250 | nº 4

Mafalda Jácome